

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra informatiky

Řešení problémů barvosleposti pomocí počítače

Problem Solving Colour Blindness Computer – Aided

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 4. května 2011

.....

Velice rád bych poděkoval doc. Ing. Lačezaru Ličevovi, CSc. a MUDr. Pavlu Šmehlíkovi za odborné konzultace, které mi pomohly při vypracování této diplomové práce.

Abstrakt

Hlavním cílem práce je navrhnout a realizovat program, který by bylo možné použít jako základ programu využívaného v očním lékařství a to v oblasti diagnostiky a analýzy poruchy barevného vidění, pomoci lidem s tímto postižením a pomoci lidem s poruchou slabozrakosti. V dnešní době zatím není možné vyvinout nějaký druh optického zařízení nebo počítačový algoritmus, který by barvoslepému dovolil vidět to samé jako člověku s normálním barevným viděním. Výsledkem práce je program provádějící transformace statických obrázků (fotografií), tak aby na nich bylo vidět co nejvíce detailů, které jsou běžně pro barvoslepé neviditelné.

Klíčová slova

Barvoslepost, barvocit, Farmsworth-Munsell 100-Hue Test, transformace obrázků, protan, deuteran, tritan, monochromazie, dichromazie, anomální trichromazie, slabozrakost

Abstract

The main goal of the thesis is to design and realize computer programme that could be used as a basis for applications used in ophthalmology and in the area of diagnostics and analysis of the defect of colour vision and to help people with this disability and help people with weak-sightedness. Nowadays it is impossible to develop some kind of an optical device or a computer algorithm to let the colour blinded man see the same as a person with normal colour vision. The result of the work is a programme performing the transformation of static images (photographs), to see as many details which are normally invisible for colour blinded people.

Keywords

Colour blindness, colour sense, Farmsworth-Munsell 100-Hue Test, image transformation, protan, deuteran, tritan, monochromasia, dichromatism, anomalous trichromatism, weak-sightedness

Seznam použitých zkratek a symbolů

CB	Color Blindness
CMY	Cyan Magenta Yellow
CMYK	Cyan Magenta Yellow Black
FM	Farnsworth-Munsell
GUI	Graphical User Interface
JRE	Java Runtime Environment
JVM	Java Virtual Machine
PC	Personal Computer
RGB	Red Green Blue
SVG	Scalable Vector Graphics
TES	Total Error Score
TPES	Total Partial Error Score
WHO	World Health Organization

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Viditelné světlo	2
2.1	Elektromagnetické záření	2
2.2	Viditelné světlo.....	3
3	Zrak a barevné vidění.....	5
3.1	Zrak.....	5
3.2	Oko	5
3.2.1	Anatomická stavba oka	5
3.2.2	Průběh světla okem	9
3.3	Barevné vidění.....	11
3.4	Barva.....	12
3.5	Míchání barev	14
3.5.1	Aditivní míchání barev	14
3.5.2	Subtraktivní míchání barev	14
4	Barvoslepost.....	16
4.1	Barvoslepost	16
4.2	Příčina barvosleposti.....	16
4.3	Vrozené poruchy	16
4.3.1	Rozdělení vrozených poruch.....	18
4.4	Získané poruchy	21
4.5	Vyšetřovací metody	21
4.5.1	Pseudoizochromatické tabulky	22
4.5.2	Holmgrenovy bavlny	23
4.5.3	Farnsworth-Munsell 100 Hue Test	23
4.5.4	Lanthonyho Desaturated 15 Hue Test.....	24
4.5.5	Anomaloskop	25
5	Slabozrakost	27
5.1	Slabozrakost	27
5.2	Klasifikace zrakového postižení podle WHO.....	27
5.3	Jak slabozraký člověk vidí?.....	28
5.4	Pomůcky pro zrakově postižené	30
6	Barvoslepost a PC	32
6.1	Barvoslepost a PC.....	32
6.2	Dostupné testy na PC.....	33
6.2.1	FM 100 Hue Test	34
6.2.2	Web-based scoring software	34
6.2.3	Color arrangement test.....	34

6.2.4	RGB Anomaloscope	35
6.3	Dostupné simulace poruch a transformace barev	36
6.3.1	Vischeck.com.....	36
6.3.2	Color-Blindness Simulators	37
6.3.3	Coblis – Color Blindness Simulators.....	38
7	Implementace	39
7.1	Analýza požadavků.....	39
7.2	Použité vývojové prostředky	39
7.3	Popis řešení a algoritmů	39
7.3.1	Farnsworth-Munsell 100 Hue Test	39
7.3.2	Simulace barvosleposti a korekce barev obrázků	45
7.3.3	Implementace počítačové lupy	48
7.4	Popis tříd.....	48
7.4.1	GUI třídy.....	49
7.4.2	Třídy sloužící pro vykreslování grafů, transformací	49
7.4.3	Ostatní třídy	50
8	Aplikace a výsledky	51
8.1	Spuštění aplikace	51
8.2	Popis aplikace.....	51
8.3	Vyhodnocování testů a výstupy.....	54
8.4	Výsledky transformací.....	57
9	Závěr	60

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Elektromagnetické spektrum [41]	2
Obrázek 2 - Elektromagnetické spektrum [29]	3
Obrázek 3 - Rychlost kmitání světelného vlnění [29]	4
Obrázek 4 - Viditelné spektrum [42]	4
Obrázek 5 - Řez okem [43]	5
Obrázek 6 - Zjednodušené schéma struktury sítnice [26]	8
Obrázek 7 - Zraková dráha [4]	10
Obrázek 8 - Barevné vjemy způsobené jednotlivými vlnovými délkami [28]	12
Obrázek 9 - Reprezentace spektra pomocí kruhového schématu [29]	12
Obrázek 10 - Systém barvy [29]	13
Obrázek 11 - Intenzita barvy [29]	13
Obrázek 12 - RGB krychle [44]	14
Obrázek 13 - RGB model [29]	14
Obrázek 14 - CMY krychle [44]	15
Obrázek 15 - CMY model [29]	15
Obrázek 16 - Karyotyp [45]	18
Obrázek 17 – Simulace achromatopsie [40]	19
Obrázek 18 – Simulace modrá monochromazie [40]	19
Obrázek 19 – Simulace dichromacie [40]	20
Obrázek 20 – Simulace anomální trichromazie [40]	21
Obrázek 21 - Příklad Ishiharovi tabulky [46]	22
Obrázek 22 - Farmsworth-Munsell 100-Hue Test [47]	23
Obrázek 23 - Kruhový graf Farmsworth-Munsell 100-Hue Test [48]	24
Obrázek 24 - Lanthonyho Desaturated 15-Hue Test [49]	24
Obrázek 25 - Výsledkové schéma Lanthonyho Desaturated 15-Hue Test [50]	25
Obrázek 26 – Anomaloskop [51]	25
Obrázek 27 - Snížení zrakové ostrosti [16]	28
Obrázek 28 - Ztráta centrálního vidění [16]	29
Obrázek 29 - Výpadky v zorném poli [16]	29
Obrázek 30 - Trubicové vidění [16]	30
Obrázek 31 - Normální barevné vidění [32]	33
Obrázek 32 - Červená-zelená porucha barvocitu [32]	33
Obrázek 33 - Počítačová reprezentace Farmsworth-Munsell 100-Hue Testu [52]	34
Obrázek 34 – Počítačová reprezentace Farmsworth D-15 Hue Testu [38]	35
Obrázek 35 - Ukázka vyhodnocení Farmsworth D-15 Hue Testu [38]	35

Obrázek 36 - Anomaloskop graf [39].....	35
Obrázek 37 - Simulace protanope poruchy nad http://www.seznam.cz [31]	36
Obrázek 38 - Ukázka funkce programu Daltonize [32]	37
Obrázek 39 - Ukázka funkce programu Color-Blindness Simulators [33].....	38
Obrázek 40 - Ukázka funkce programu Coblis – Color Blindness Simulators [40]	38
Obrázek 41 - 95% úroveň spolehlivosti celkového chybového skóre v závislosti na věku [35].....	43
Obrázek 42 - Schéma algoritmu transformace obrázků pro barvoslepé.....	46
Obrázek 43 –Hlavní menu aplikace Barvoslepost.....	52
Obrázek 44 – Ukázka transformace obrázků pro barvoslepé	53
Obrázek 45 - Ukázka kruhového grafu pro 100Hue Test.....	55
Obrázek 46 - Ukázka histogramového grafu pro 100Hue Test	55
Obrázek 47 - Ukázka spojnicového grafu diferencí RGB modelu pro Binocular	56
Obrázek 48 - Ukázka spojnicového grafu diferencí RGB modelu pro Monocular	57
Obrázek 49 - Testové obrázky.....	57
Obrázek 50 - Transformace obrázků - Experiment 1	58
Obrázek 51 - Transformace obrázků - Experiment 2	58
Obrázek 52 - Transformace obrázků - Experiment 3	59

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Rozšířenost různých druhů poruch barvocitu [36].....	17
Tabulka 2 - Typ barvosleposti v závislosti na chromozomech [36].....	18
Tabulka 3 - Výpočet skóre pro jednotlivé terčíky	41
Tabulka 4 - Hodnoty kritického chybového skóre podle [18].....	44

1 Úvod

Nejdůležitějším smyslem pro člověka je zrak, získáváme jím až tři čtvrtiny všech informací. Zrakem vnímáme světlo, prostor kolem nás, tvary předmětů, veškeré barvy. Proto jakékoliv vážnější omezení zrakového smyslu má pro člověka těžké následky. A to nejen samotná nevidomost a slabozrakost, ale i samotné barevné vnímání světa. Bohužel barvoslepost bývá často opomíjena a neklade se na ni velký význam a to přestože pomocí barev můžeme vnímat mnoho informací o detailech světa. Správnost barevného vidění hraje velkou roli v mnoha povoláních a koníčcích. Především v dopravě, ale také v umění, módě atd. Dokážete si představit, že by, jsme celý svět vnímali jen jako černobílý film? Barevné vidění nemá pro člověka jen funkční charakter, ale působí i na jeho psychiku, ovlivňuje jeho jednání.

Cílem diplomové práce je tedy navrhnout a realizovat program, který by mohl být použit pro diagnostiku a analýzu poruchy barevného vidění, pomoci lidem s tímto postižením a pomoci lidem s poruchou slabozrakosti. Program by měl tedy umět nejen testovat poruchu barvocitu, ale měl by také lékaři a člověku s normálním barevným viděním, přiblížit to co barvoslepý člověk vidí a co naopak nevidí. A to pomocí grafických simulací různých vad a úrovní barvocitu. Dále by měl umožnit zoomování obrazu pro pomoc slabozrakým.

Samotný text práce je kromě úvodu a závěru rozdělen do sedmi kapitol. První dvě kapitoly se snaží přiblížit to, jak funguje lidský zrak a jak vzniká barevný vjem světa. Třetí a čtvrtá kapitola pak již podrobně popisují problém barvosleposti a slabozrakosti. Pátá kapitola obsahuje podrobnější popis, jak by mohl být využit počítač pro pomoc lidem s barvoslepostí a snaží se částečně zmapovat dostupné možnosti na internetu. Šestá kapitola popisuje návrh a samotnou implementaci námi vytvářené aplikace. A nakonec poslední sedmá kapitola obsahuje popis vytvořené aplikace a výsledky práce.

2 Viditelné světlo

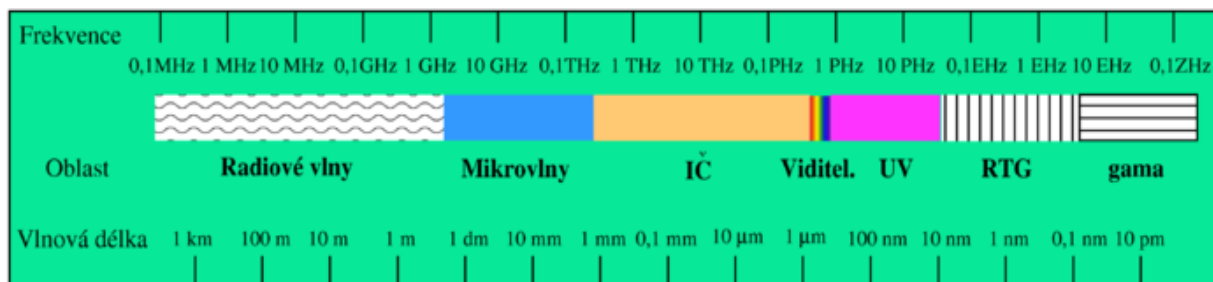
2.1 Elektromagnetické záření

Elektromagnetickým zářením, nazývaným též jako elektromagnetické vlnění, označujeme každý děj v proměnném elektromagnetickém poli, jehož vlny se šíří prostorem. S elektromagnetickým zářením, se běžně setkáváme při poslechu rozhlasu, sledování televize a je jím též světlo.

Základní charakteristikou elektromagnetického záření je vlnová délka, označujeme ji řeckým písmenem λ . Udáváme ji ve vhodných délkových jednotkách. U viditelného světla to je 10^{-9} m, tedy v nanometrech (nm). Zjednodušeně řečeno vlnová délka udává, jak velká je vzdálenost mezi stejnými fázemi dvou sousedních vln.

Další charakteristickou veličinou elektromagnetického záření je frekvence, označujeme ji písmenem f . Základní jednotkou je hertz (Hz). Tato veličina nám udává počet vln neboli kmitů za sekundu.

Elektromagnetické spektrum je tvořeno elektromagnetickým zářením různých vlnových délek. Nazýváme jej taky jako Maxwellova duha, po fyzikovi James Clerk Maxwellovi, který jako první vysvětlil teorii elektromagnetického záření. Z jeho teorie vyplynulo, že světelný paprsek je postupná vlna tvořená elektrickým a magnetickým polem, tedy elektromagnetická vlna. Optika, studující viditelné světlo, je proto součástí elektromagnetismu. Mezi jednotlivými druhy elektromagnetického vlnění není ostrá hranice, jednotlivé druhy se mohou částečně překrývat. Složení elektromagnetického spektra můžeme vidět na obrázku 1.



Obrázek 1 - Elektromagnetické spektrum[41]

Rádiové vlny, jejich vlnová délka se pohybuje od 1mm a až do desítek kilometrů. Do kategorie radiových vln spadají i tzv. mikrovlny, jejichž vlnová délka se pohybuje v rozmezí od 1mm až 1dm.

Infračervené záření je charakterizované vlnovými délkami 1mm až 760nm. Pomocí infračerveného záření se šíří teplo. Proto jej taky někdy nazýváme jako tepelné. Jak rádiové vlny, tak infračervené záření jsou pro nás neviditelné. Infračervené záření jsme ovšem schopni vnímat pokožkou jako teplo. Elektromagnetické záření v rozmezí 390-760nm jsme schopni vnímat zrakem, proto jej nazýváme viditelné světlo.

Ultrafialové záření je vymezeno vlnovými délkami 390-10nm. Je to tedy elektromagnetické záření, které má menší vlnovou délku než světlo fialové barvy, která se nachází na spodní hranici

viditelného světla. A pro naše oko je tedy opět neviditelné. Zdrojem tohoto záření jsou tělesa zahřátá na velmi vysokou teplotu, např. hvězdy, elektrický oblouk, atd.

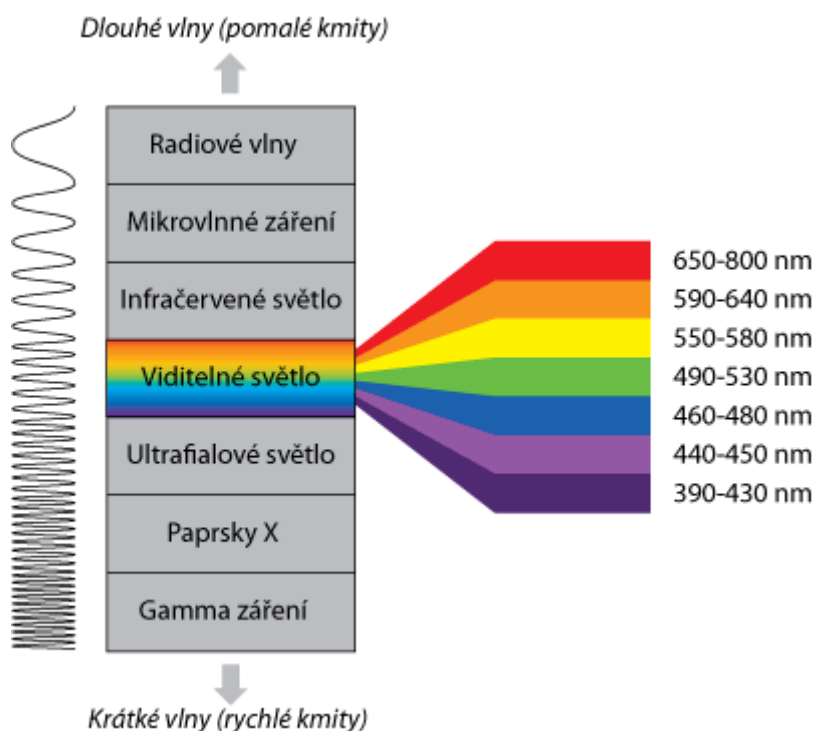
Rentgenové záření objevil roku 1895 německý fyzik Wilhelm Conrad Roentgen. Toto záření, má vlnové délky 10nm-1pm. Toto záření se velice často využívá v lékařství.

Ještě kratší vlnové délky než rentgenové záření má gama záření. Vlnové délky jsou tedy u gama záření menší než 1pm.

2.2 Viditelné světlo

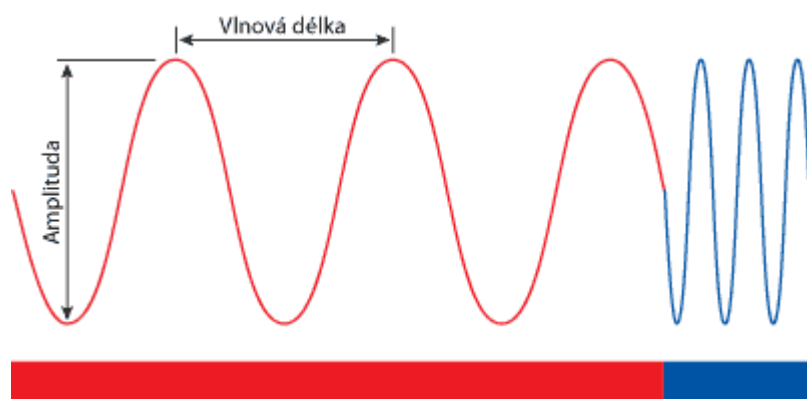
Sítnice lidského oka je citlivá na elektromagnetické záření o vlnové délce 400-700nm. Proto tuto oblast elektromagnetického spektra označujeme jako viditelnou. Je to jediná oblast, kterou může lidské oko zachytit. V tomto úzkém páse elektromagnetického spektra se tedy odehrává celý lidský vizuální svět.

Viditelné spektrum též označujeme jako světelné spektrum nebo spektrum barev. Spektrum barev se skládá z barevných světél červené, oranžové, žluté, zelené, modré a fialové.

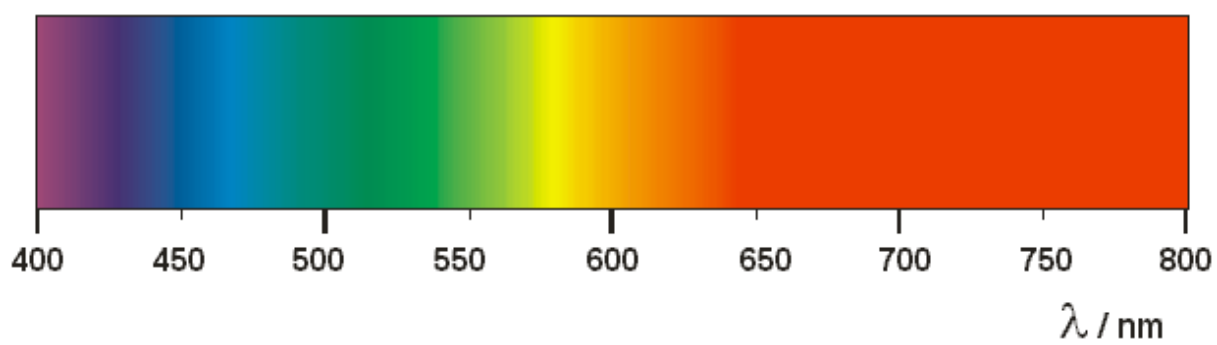


Obrázek 2 - Elektromagnetické spektrum [29]

Barevné světlo je charakterizované svým barevným odstínem, který nám udává vlnová délka, ale můžeme jej také popsat pomocí frekvence. Platí, že čím větší je vlnová délka, tím nižší je frekvence. Dále je pak světlo charakterizováno svojí intenzitou, tedy jasem, který nám udává výška amplitudy.



Obrázek 3 - Rychlost kmitání světelného vlnění [29]



Obrázek 4 - Viditelné spektrum [42]

3 Zrak a barevné vidění

3.1 Zrak

Zrak je jedním ze smyslů živých organismů. Smysl je schopnost živočichů přijímat podněty (informace) z okolního světa, které přijímáme smyslovým orgánem. U zraku je tímto podnětem viditelné světlo a smyslovým orgánem oko. Zrakem přijímáme více než tři čtvrtiny všech informací a oko je tedy naším nejdůležitějším smyslovým orgánem.

Zrak je zaměřen na vnímání kontrastu, tedy nám umožňuje rozpoznat jednotlivé předměty, jejich vzdálenosti a je tedy jedním z hlavních smyslů, který nám pomáhá orientovat se v prostoru.

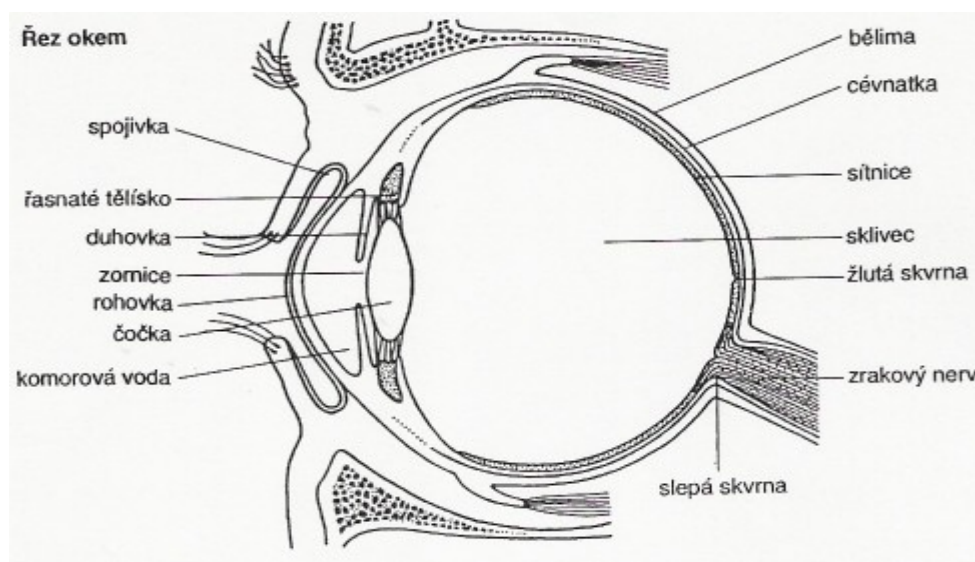
Zrak je velice komplikovaný proces a i přes veškeré vědecké pokroky v této oblasti, není do dnešní doby dopodrobna známo, jak náš zrak přesně pracuje.

3.2 Oko

Zrakové ústrojí je tvořeno především oční koulí (bulbus oculi), která představuje vlastní smyslový orgán pro vnímání obrazové informace. Oko je párovým orgánem. K oku jsou pak připojeny struktury, které zajišťují ochranu oka, pohyblivost a zachycení světelné informace.

3.2.1 Anatomická stavba oka

Oční koule je uložena v očníci a má přibližně kulovitý tvar. A můžeme ji rozdělit na dva segmenty, kterými jsou stěna oční koule a obsah oční koule.



Obrázek 5 - Řez okem [43]

Stěna oční koule je tvořena třemi vrstvami:

- Zevní vrstvou, která tvoří pevný obal oční koule a skládá se z bělma (selera) a rohovky (cornea).

- Střední vrstvou, která je tvořena cévnatkou (choroidea), řasnatým tělesem (corpus ciliare) a duhovkou (iris).
- Vnitřní vrstvou, která je tvořena sítnicí (retina).

Bělima tvoří pevný obal oka a je tvořena hustým fibrilárním vazivem, jehož vlákna se bohatě proplétají, díky své pevnosti a tuhosti může udržovat stálý tvar oka a zajišťovat jeho ochranu. Kromě toho je i místem úponu okohybných svalů, které zajišťují pohyb oka. Bělima je bílé barvy a neobsahuje téměř žádné cévy. Přední část bělimy je kryta spojivkou (tunica conjunctiva), která končí v oblasti limbus sclerae, což je okraj otvoru, do něhož je vsazena rohovka svým limbus corneae. Na zadním pólu bělimy se nachází odstup zrakového nervu (n.opticus).

Rohovka je průhledná část refrakterní soustavy oka, přes kterou vstupují světelné paprsky do oka. Její optická mohutnost je asi +40D. Konvexní plocha vybíhá ve vertex corneae, zatímco zadní konkávní plocha se obrací do přední komory oční. Povrchová vrstva rohovky je tvořena vrstevnatým dlaždicovým epitelem, který obsahuje velké množství volných nervových zakončení, což podmiňuje její velkou citlivost. Epitel má velice dobrou regenerační schopnost, což umožňuje dobré hojení menších povrchových poranění rohovky. Střední vrstva je tvořena kolagenními vlákny, mezi kterými se nachází ojedinelé buňky a bezbarvá mukoidní hmota. Vnitřní vrstvu tvoří buňky endotelové, které vystylají také přední oční komoru.

Cévnatka představuje pigmentovou vrstvu oční koule obsahující velké množství cév a melanoforů. Úkolem cévnatky je jednak využívat hlubokých vrstev sítnice a jednak se podílet na napínání závěsného aparátu čočky. V přední části cévnatka přechází do řasnatého tělesa.

Řasnaté těleso má tvar mezikruží. Zadní plocha není rovná a vychází z ní vlákna závěsného aparátu čočky, jejich prostřednictvím dochází k akomodaci na podkladě kontrakce svalových buněk. Svalové buňky řasnatého tělesa jsou uspořádány jak cirkulárně tak radiálně a dohromady tvoří svazky hladké svaloviny musculus ciliaris. Kontrakcí musculus ciliaris dochází k akomodaci na blízko, tedy k uvolnění závěsného aparátu čočky a k jejímu vyklenutí na podkladě její vlastní pružnosti. Řasnaté těleso má i sekreční funkci a tvoří komorový mok.

Duhovka má stejně jako řasnaté těleso tvar mezikruží. V jejím středu se nachází zornice neboli panenka (pupilla). Přední plocha duhovky se obrací do přední komory oční a je pigmentovaná. Množství pigmentu podmiňuje barvu očí od šedé až po tmavě hnědou. U modrookých jedinců se pigment nachází pouze v sítnici. Zadní plochu duhovky překrývá pigmentová vrstva sítnice. Stroma duhovky obsahuje kromě pigmentových buněk četné cévy a buňky hladké svaloviny. Svalové buňky tvoří dva svaly duhovky odpovědné za šířku zornice, tedy za množství paprsků pronikajících do oka. Těmito svaly jsou svěrač zornice (m. sphincter pupillae) a rozvěrač zornice (m. dilatator pupillae).

Svalové buňky svěrače zornice jsou uspořádány cirkulárně a při jejich kontrakci dochází k zúžení průsvitu zornice (miosis). Tedy zmenšuje se množství paprsků dopadajících na sítnici. Inervace je zajištěna pomocí n. oculomotorius.

Rozvěrač zornice (m. dilatator pupillae) - svalové buňky toho svalu jsou uspořádány radiálně. Při jejich kontrakci dochází k rozšíření průsvitu zornice (mydriasis). Inervace je zajištěna prostřednictvím krčního sympatiku.

Sítnice tvoří nejvnitřnější vrstvu oka. Přikládá se na cévnatku a je v kontaktu se sklivcem.

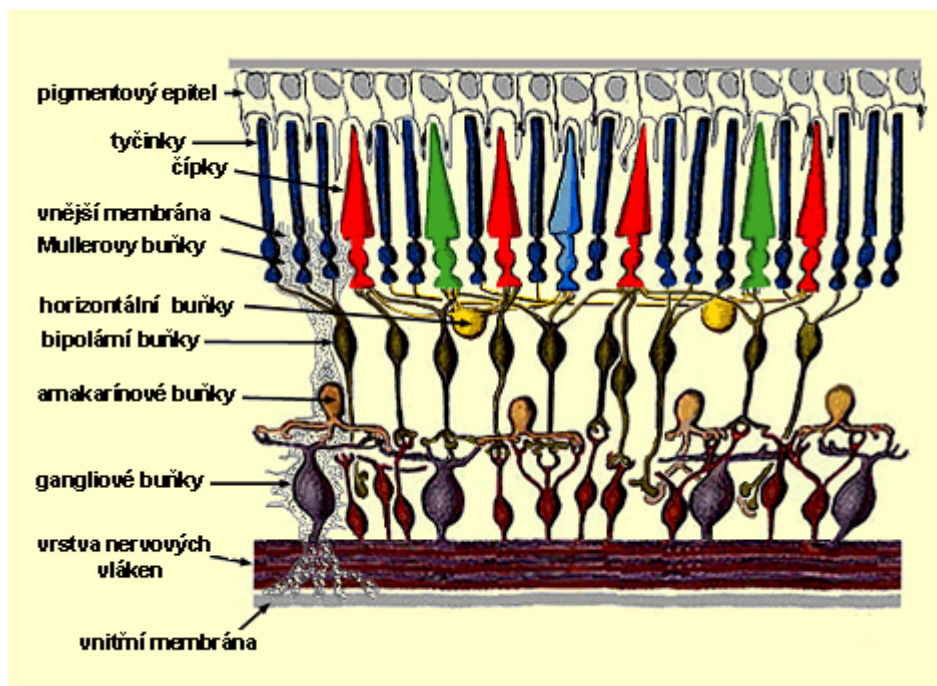
Lze ji rozdělit na dvě části. Na zadní – optická část sítnice (pars optica retinae) a přední – slepá část sítnice (pars caeca retinae). Dále se budu věnovat již pouze optické části sítnice.

Optická část sítnice, jedná se o tenkou blánu, která naléhá na cévnatku. Je to funkčně nejvýznamnější částí stěny oční koule. Lze ji vyšetřit pomocí oftalmoskopu. V optické části sítnice rozlišujeme několik útvarů. Laterálně od zadního pólu oka se nachází žlutá skvrna (macula lutea) v jejímž centru se nachází malá prohlubeň zvaná fovea centralis, která je místem nejostřejšího vidění. Je zde nahromaděno velké množství čípků. Mediálně od žluté skvrny leží skvrna slepá (macula caeca). Je to místo odstupu zrakového nervu a neobsahuje tudíž žádné světločivné elementy. V tomto místě, také vstupují do sítnice tepna a žila, které se dále větví.

Sítnice je histologicky složená z 10 vrstev:

1. Pigmentový epitel – je tvořen jednou vrstvou buněk obsahujících pigment, naléhá na cévnatku a brání odrazu dopadajícího světla.
2. Vrstva tyčinek a čípků – jedná se o vlastní smyslové buňky sítnice, představují 1. neuron zrakové dráhy.
3. Vnější membrána – jemná membrána, která odděluje světločivné výběžky tyčinek a čípků od jejich částí s jádrem.
4. Zevní jádrová vrstva – je tvořena jádry smyslových buněk.
5. Zevní plexiformní vrstva – je tvořena vodivými výběžky smyslových a bipolárních buněk. Dochází zde k synapsi mezi 1. a 2. neuronem zrakové dráhy.
6. Vnitřní jádrová vrstva – tvořená jádry buněk bipolárních, amakrinních, horizontálních a Müllerových.
7. Vnitřní plexiformní vrstva – je tvořena vodivými výběžky. Dochází zde k synapsi mezi 2. a 3. neuronem zrakové dráhy.
8. Vrstva gangliových buněk
9. Vrstva nervových vláken – tvořena axony, které se sbíhají ve slepé skvrně a vytváří n. opticus.
10. Vnitřní membrána – mikroskopická membrána na nitroočním povrchu sítnice.

Paprsek dopadající na sítnici, musí projít všemi jejími vrstvami, než dopadne na vlastní světločivné buňky zanořené ve vrstvě buněk pigmentových a vyvolá nervové podráždění.



Obrázek 6 - Zjednodušené schéma struktury sítnice [26]

Obsah oční koule je tvořen sklivcem (corpus vitreum), čočkou (lens) a přední a zadní oční komorou (camera anterior et posterior bulbi), jejichž obsahem je komorový mok (humor aquosus).

Čočka má bikonvexní tvar a svou přední plochou se obrací do přední komory oční. Přední plocha je vyklenutější než zadní. Optická mohutnost čočky je 10-17 dioptrií. Do pouzdra, které je na jejím povrchu, se upínají vlákna fibrae zonulares, které na ni přenášejí kontrakce m. ciliaris. Kontrakcí jeho cirkulárních buněk dochází k uvolnění závěsného aparátu a čočka se svou pružností vyklene. Tím dochází ke zvětší její optické mohutnosti a to nám umožňuje ostré vidění na blízko. Když naopak dojde ke kontrakci radiálně uspořádaných buněk m. ciliaris vlákna (fibrae zonulares) se napnou, což způsobí oploštění čočky a umožní nám ostré vidění do dálky. Pružnost čočky se mění s věkem. V 40letech její optická mohutnost klesá téměř na polovinu své původní hodnoty a ve stáří prakticky mizí. Projevem klesající pružnosti je zhoršující se vidění do blízka (presbyopia), kterou je možné řešit pomocí brýlových čoček (spojek).

Sklivec vyplňuje sklivcovou komoru a je tvořen průhlednou, rosolovitou hmotou s vysokým obsahem vody.

Jako **přední komora oční** je označován prostor mezi zadní stěnou rohovky a přední plochou duhovky, stejně jako zadní komora je vyplněna komorovou tekutinou. **Zadní komora oční** je ohraničená zepředu zadní plochou duhovky a zezadu tvoří její hranici přední plocha čočky, závěsný aparát čočky a řasnaté těleso.

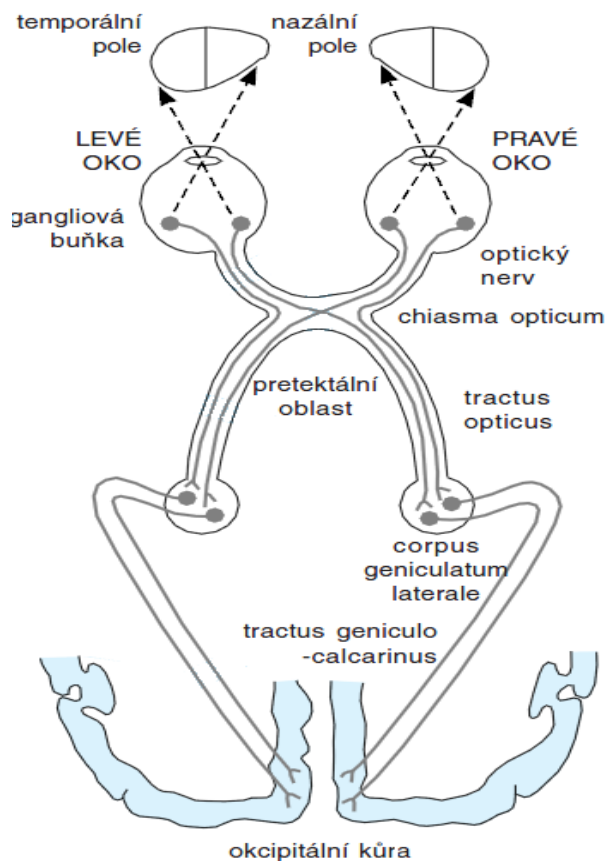
Mezi přídatné orgány oční patří okohybné svaly, které zajišťují pohyb oční koule tak, aby obraz předmětu dopadal na žlutou skvrnu obou očí. Víčka, která ovlivňují množství světla dopadajícího

do oka a zároveň mají ochranou funkci. Spojivka, tenká blanka spojující přední plochu oční koule a zadní plochu víček, obsahuje velké množství cév. Slzné ústrojí a vazivový aparát očníce.

3.2.2 Průběh světla okem

Světlo vstupuje do oka zvenku a nejprve prochází rohovkou, pak přední oční komorou, vyplněnou průhledným mokem, poté skrz čočku vstupuje do zadní oční komory, vyplněné průhledným rosolovitým sklivcem a nakonec dopadá na její zadní část, která je pokrytá sítnicí. Tento proces jde poměrně spolehlivě fyzikálně modelovat, jeho princip je podobný jako u fotoaparátu. Zornice, umístěná mezi přední oční komorou a čočkou, která reguluje množství světla vstupujícího do oka, hraje úlohu clony, přední komora a čočka slouží jako objektiv. Závěsný vaz tzv. řasné tělísko, na kterém je čočka uchycena, dokáže pružnou čočku napínat a zplošťovat a dovoluje tak zaostřit na různé vzdálenosti. Sítnici, obsahující světločivné buňky, pak lze přirovnat k filmu nebo spíše čipu digitálního fotoaparátu. Nicméně, na rozdíl od ostatních součástí oka, zde jde jen o podobnost hodně vzdálenou. Zcela odlišné jsou totiž nejen fotoreceptory samotné, ale kromě toho už sítnice sama je současně i složitým procesorem. Obsahuje komplikovaný systém navzájem různě spojených nervových buněk a její funkcí není jen prostě světlo zachytit a přímočarým způsobem ho převést na nervové impulsy, které by byly rovnou prostřednictvím zrakového nervu předané ke zpracování do mozku, ale sítnice sama signály svých světločivných buněk složitým způsobem zpracovává, než je vyšle dál. Ačkoliv o buňkách, které sítnici tvoří, se už ledacos ví, proces, ke kterému v nich dochází, je do velké míry stále spíš jen předmětem teorií. Prozatím neexistuje žádný uspokojivý komplexní model práce tohoto systému, který by funkci sítnice dostatečnou přesností popsal a vysvětlil, jak přesně dochází ke všem možným jevům pozorovaným při experimentech. [26]

Světlo do sítnice proniká skrz svrchní membránu a vlákna spojující gangliové buňky s optickým nervem, pokračuje přes samotnou vrstvu jader gangliových buněk, dále pak přes vrstvu výběžků těchto buněk a vláken spojujících je s další vrstvou nervových buněk, obsahující různé druhy bipolárních, ale také amakrinové a horizontální buňky, až k vlastním světločivným buňkám – tyčinkám a čípkům. Tyto buňky mají protáhlý tvar a můžeme si je představit jako světelná vlákna, která vedou světlo. To musí nejprve projít vrstvou synaptických kontaktů spojujícími je s výše jmenovanými vrstvami, vrstvou tvořenou jádry tyčinek a čípků a podpůrnou membránou sítnice, až se úplně nakonec dostane do jejich vnějších segmentů, které obsahují fotocitlivé pigmenty. Fotochemickou reakcí s nimi je světlo převáděno na elektrické signály. Za tyčinkami a čípkami se pak nachází ještě jedna vrstva, epitel obsahující tmavý nefotoaktivní pigment melanin, do kterého jsou vnější segmenty světločivných buněk obsahující aktivní pigmenty zanořené. Tento pigment pohlcuje světlo a zaručuje jednak to, že světlo do oka vstupuje pouze zornicí, a také to, že se od zadní strany oka neodráží zpět a necestuje napříč mezi fotoreceptory, neboli zabraňuje vzniku reflexů. [26]



Obrázek 7 - Zraková dráha [4]

Signály vznikající ve vnějších segmentech tyčinek a čípků putují sítnicí opačným směrem a jsou postupně nervovými buňkami cestou zpracovávány, až se nakonec výsledné signály dostanou do zrakového nervu a odtud jsou předány až do mozku (konkrétně do jeho týlního laloku) k dalšímu zpracování. [26]

Klíčovou součástí tyčinek a čípků jsou fotoaktivní pigmenty. Molekula pigmentu se při dopadu světla rozpadne („vybělí“), přitom vznikne elektrický impuls, který je pak dále předáván a zpracováván nervovou sítí. Současně s tím, jak se některé molekuly rozpadají, jsou jiné naopak zpětně regenerovány. Součástí tohoto chemického procesu je vitamín A. Jde tu o dynamický systém, jehož stav se neustále mění. Citlivost buněk je úměrná tomu, kolik nevyběleného pigmentu v daném okamžiku obsahují. Množství nevyběleného pigmentu buněk přímo odpovídá intenzitě dopadajícího světla. Této samoregulaci vděčíme nejen za schopnost zraku přizpůsobit se obrovskému rozsahu různých úrovní osvětlení (která daleko přesahuje jen prostou regulaci množství světla dopadajícího na sítnici prostřednictvím změny velikosti zornice), ale také za automatickou barevnou adaptaci zraku. Na této úrovni probíhající barevná adaptace je zcela nezávislá jednak na obsahu scény (tj. rozpoznání objektů, jejichž barvu za normálního, denního světla si pamatujeme – což při vnímání barev také hraje roli), tak i na naší vůli (nemůžeme ji z vlastní vůle vypnout). Adaptace zraku na náhlou změnu podmínek probíhá zpočátku velmi rychle, ale postupně výrazně zpomaluje, k maximální možné adaptaci dojde až po poměrně dlouhé době, např. úplné adaptace na tmu dosáhne oko asi až po 40

minutách. Posvítíme-li si ovšem ve tmě třeba i jen na chvíli baterkou, zrak velmi rychle zareaguje a pak musíme znovu dlouho čekat, než se váš zrak zase znovu plně adaptuje. [26]

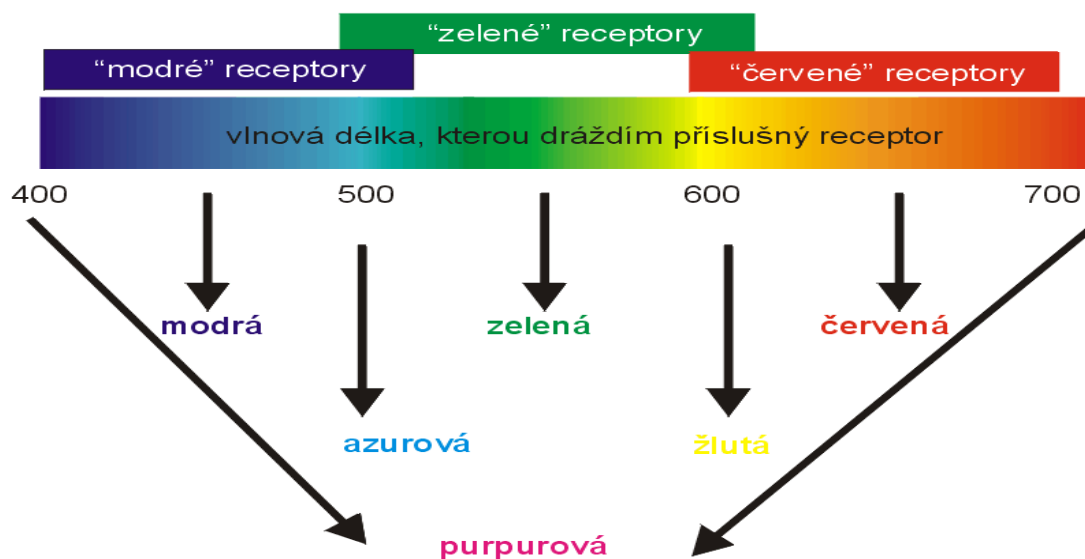
3.3 Barevné vidění

Barevné vidění je velmi složitý psychofyzikální proces, při kterém naše oko rozeznává různé barvy. Z fyzikálního hlediska barva neexistuje, jde jen o zrakový vjem, který je podmíněn vlnovou délkou světla. Od různých předmětů se odráží určitá část spektra, dopadá do oka, kde způsobí podráždění světločivných elementů, reagujících na barvu - čípků. Na jeho realizaci je nutná správná a neporušená činnost zraku a to oka jako přijímacího orgánu, zrakové dráhy jako přenosného systému a mozkových center, díky kterým si uvědomujeme a jsou proto analyzátořem vjemu. [27]

U všech lidí je barevné vidění závislé na vnějších a vnitřních podmínkách. Na jedné straně stojí vnější okolí, které barevný podnět vytváří a na straně druhé náš zrak, který stejný podnět vyhodnocuje. Z vnějších podmínek je důležité adekvátní osvětlení, protože při nadměrném osvětlení přestáváme vnímat barvy od krátkovlnného konce spektra. Při nedostatku světla je tomu také tak, jen barvy přestáváme vidět v opačném pořadí. Po překročení určité prahové hodnoty se stává vnímání barev nemožné a dochází k tzv. fyziologické monochromazii, všechny barvy se pak jeví jako šedé. [27]

Teorie barevného vidění vychází z Young-Helmholtzovi trichromatické teorie. Ta pojednává o tom, že sítnice obsahuje tři typy čípků. Každý typ obsahuje jiný fotopigment a proto je citlivý na světlo jiné vlnové délky. Výsledný obraz barvy vychází z poměru frekvence vzruchů z jednotlivých typů čípků. Správnost této teorie byla potvrzena objevem tří různých fotopigmentů různého chemického složení. Tyto pigmenty jsou nejcitlivější na modrou, zelenou a žlutou část spektra. Za základní barvy jsou však považovány zelená, modrá a červená. Čípky citlivé na žlutou část spektra jsou citlivější na červenou část než zbývající dva druhy čípků. Proto, čípky citlivé na žlutou barvu, bývají označovány za červené receptory.

Zajímavou vlastností oka je skutečnost, že spektrální citlivosti receptorů se překrývají. Pokud tedy budeme receptory dráždit hraniční vlnovou délkou 500 nm, získáme odezvu jak z modro-citlivých, tak i ze zeleno-citlivých receptorů, a získáme vjem azurové barvy. Při dráždění vlnovou délkou 600 nm získáme odezvu ze zeleno-citlivých a červeno-citlivých receptorů a vidíme žlutou. Při současném dráždění modro-citlivých a červeno-citlivých receptorů získáme vjem purpurové barvy. [28]

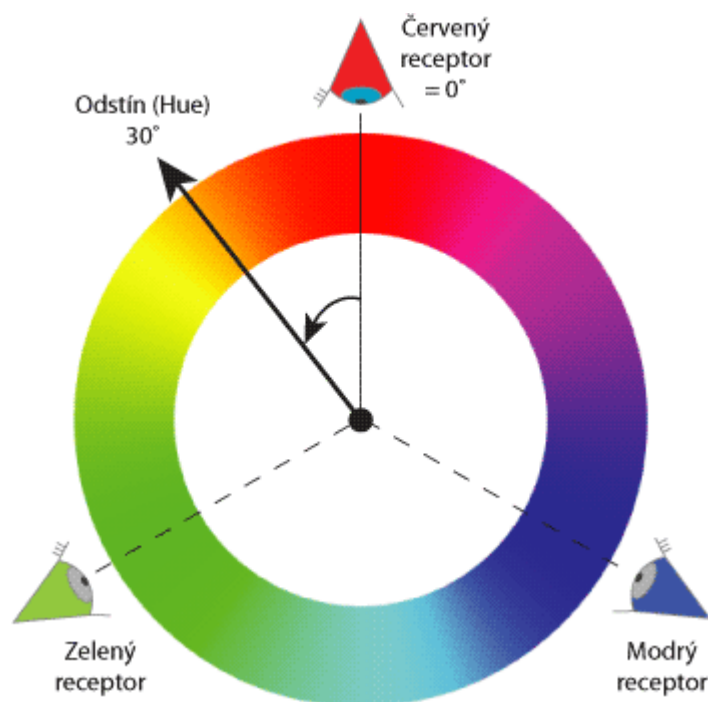


Obrázek 8 - Barevné vjemy způsobené jednotlivými vlnovými délkami [28]

3.4 Barva

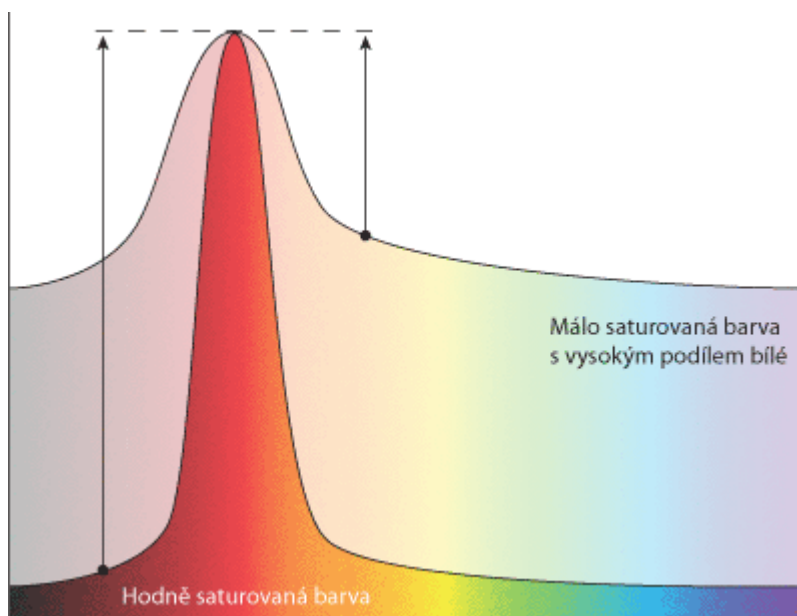
Pojem barva, je lidmi vytvořené označení pro určité světlo z viditelného spektra. Barva je charakterizována třemi základními vlastnostmi a to odstínem, sytostí a intenzitou. Každá barva má k sobě barvu komplementární. Jejich smícháním pak vzniká dojem bílé barvy.

Odstínem barvy se myslí barva ve své čisté podobě světla, tedy neovlivněná intenzitou a sytostí barvy. Odstín barvy můžeme vyjádřit jako úhel v kruhové stupnici, tedy 0 až 360° a to díky reprezentaci barev pomocí kruhu. V modelu RGB přiřazujeme červené barvě úhel 0°, zelené barvě úhel 120° a modré barvě úhel 240°.



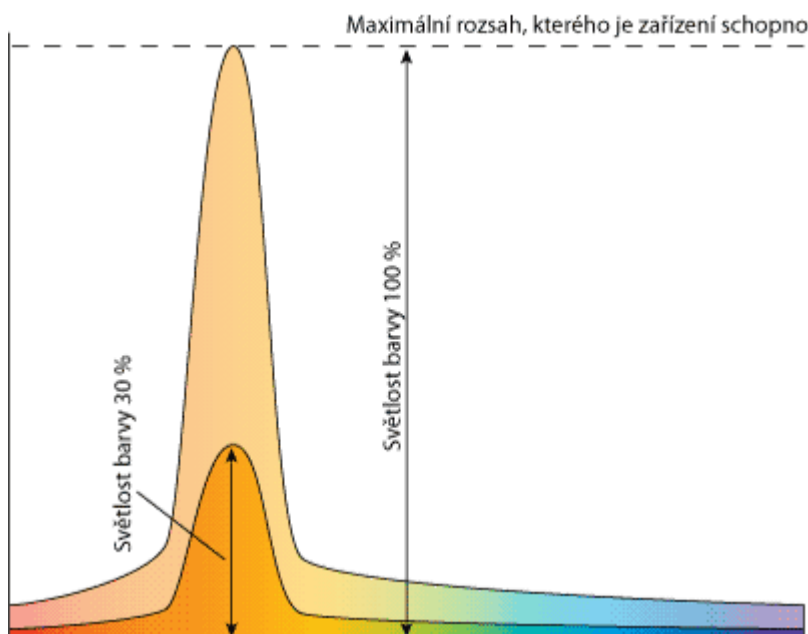
Obrázek 9 - Reprezentace spektra pomocí kruhového schématu [29]

Sytost nám udává množství bílého světla smíšeného s danou barvou. Z fyzikálního hlediska odpovídá sytost čistotě barvy. Sytost obvykle udáváme v %. Při zvyšování sytosti jsou barvy čisté a jasné, pokud sytost zvýšíme na 100%, dostáváme barvu ve své čisté podobě. Při snižování sytosti barva jednoho tónu bledne, až se nakonec ztrácí v bílé.



Obrázek 10 - Sytost barvy [29]

Intenzita barvy - myslíme její světlost, jas. Vyjadřuje, jak moc světlá se barva jeví, a označuje se často slovy jako "světle modrá", "tmavě červená" atd. Jas závisí na intenzitě světelného zdroje, čím výkonnější zdroj světla máme, tím se nám barva jeví světlejší. Po překročení maximální intenzity vzniká vjem bíle barvy pro všechny vlnové délky světla.



Obrázek 11 - Intenzita barvy [29]

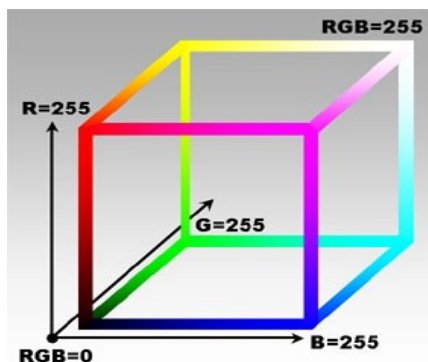
3.5 Míchání barev

Dosažení jiné barvy než základní, kterou vnímáme jedním ze tří druhů receptorů, dosáhneme mícháním těchto barev. V reálném světě rozlišujeme dva druhy míchání barev. A to aditivní míchání a subtraktivní míchání.

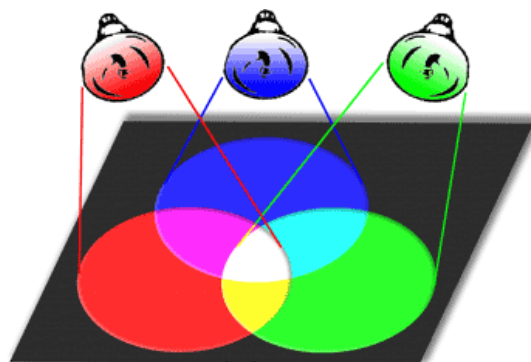
3.5.1 Aditivní míchání barev

Aditivním mícháním barev, je spojeno s RGB modelem. Kdy základní barvy jsou červená, zelená a modrá. Tento model udává sílu původního světla rozloženého na jeho tři základní barevné kanály. Jinou barvu než základní tedy získáme tak, že zajistíme tři světla přesných základních barev a jejich vzájemným skládáním vytvoříme požadovanou barvu.

Aditivní míchání, je tedy takové míchání, kdy se jednotlivé barevné složky sčítají a tím vytvářejí světlo větší intenzity. Jinak řečeno, toto míchání je založeno na přidávání RGB světél na tmavou nesvítící podložku. S tímto mícháním se běžně setkáváme u monitorů, televizí, projektorů atd.



Obrázek 12 - RGB krychle [44]



Obrázek 13 - RGB model [29]

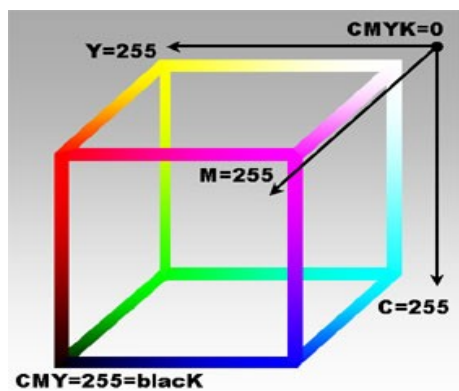
3.5.2 Subtraktivní míchání barev

Subtraktivní míchání je naopak spojeno s barevným modelem CMY. Základními barvami jsou azurová C, purpurová M, žlutá Y.

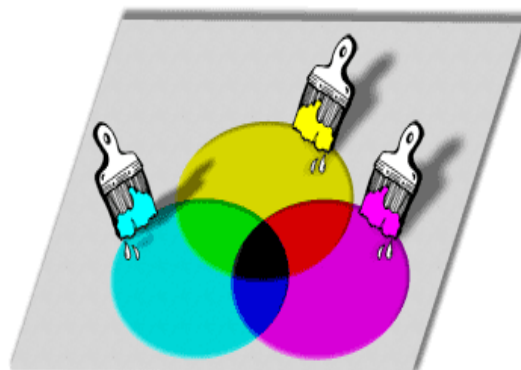
Dalo by se říct, že subtraktivní míchání barev, vytváří barvy opačným způsobem než aditivní míchání. Azurová je doplňková barva k červené, a proto odráží všechno světlo vyjma červeného. Podobně purpurová je doplňková k zelené a žlutá k modré. Pomocí CMY barev je tedy možné „odebírat z bílé“ RGB světlo, a tím docílit zisku barev opačným postup než u aditivního míchání. U subtraktivního míchání se tedy základní barvy od sebe odčítají a tím dochází k omezování barevného spektra, které se odráží od povrchu.

Tento model se používá u např. u inkoustových tiskáren. V ideálním případě subtraktivním smícháním základních barev dojde ke vzniku černé. Ve skutečnosti je však obtížné vytvořit ideální inkousty, aby jejich smícháním vznikla opravdu černá barva. Navíc z ekonomického hlediska je

výroba černého inkoustu mnohem lacinější. Proto se tento model rozšiřuje jako CMYK, kde K je přidaná černá barva.



Obrázek 14 - CMY krychle [44]



Obrázek 15 - CMY model [29]

4 Barvoslepost

4.1 Barvoslepost

Termín barvoslepost je dost zavádějící. Mnoho lidí si myslí, že barvoslepi lidé nemohou vidět žádné barvy. Toto ovšem není pravda, 99% všech barvoslepých vnímá barvy. Výstižnějším názvem pro barvoslepost je tedy porucha barvocitu. Barvoslepost je tedy snížená schopnost vnímat rozdíly mezi některými z barev, které jsou lidé s normálním barevným viděním schopni rozlišit.

První vědecké pojednání o barvosleposti publikoval anglický chemik a fyzik John Dalton v roce 1793 pod názvem "Extraordinary facts relating to the vision of colours". Dalton sám trpěl červeno-zelenou poruchou barvocitu. Tuto publikaci a výzkum proto prováděl pro pochopení této poruchy. Dalton se domníval, že oko obsahuje barevné kapaliny, které jsou zdrojem pro rozdílné vnímání barev. Tato teorie se ukázala jako mylná až po Daltonově smrti, kdy byly zkoumány jeho oči a žádné takové tekutiny se nenašly.

Dnešní teorie barevného vidění vychází z Young-Helmholtzovi trichromatické teorie. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.3 Barevné vidění.

4.2 Příčina barvosleposti

Normální barvocit neboli trichromazie je zajištěn přítomností tří typů čípků. Každý typ obsahuje jiný fotopigment a proto je citlivý na světlo jiné vlnové délky. Technické názvy pro tyto receptory jsou L-čípky, M-čípky a S-čípky. Názvy jsou odvozeny od toho, na jaké vlnové délky světla jsou čípky citlivé.

- L(Long)-čípky – citlivé na dlouhé vlnové délky (červené oblasti viditelného spektra)
- M(Middle)-čípky – citlivé na střední vlnové délky (zelené oblasti viditelného spektra)
- S(Short)-čípky - citlivé na krátké vlnové délky (modré oblasti viditelného spektra)

Každá vnímaná barva je tedy tvořena směsí podnětů z těchto tří čípků.

Pokud některý z těchto typů čípků je poškozen nebo chybí úplně, vnímá člověk užší část viditelného spektra. Jinými slovy je barvoslepý.

Barvoslepost můžeme rozdělit na dva základní druhy, vrozenou a získanou. Vrozené poruchy jsou mnohem častější, a proto je i jejich význam větší. Tyto poruchy jsou dále neměnné a nelze je léčit.

4.3 Vrozené poruchy

Vrozená porucha barvocitu je genetická choroba, která se dědí od rodičů na děti. To znamená, že pokud jeden nebo oba rodiče trpí nějakou poruchou barvocitu, existuje určitá pravděpodobnost, že i jejich děti budou mít stejný handicap. Pro tyto poruchy neexistuje léčba, ale v dnešní době je možné je do určité míry korigovat pomocí optických pomůcek.

Vrozené poruchy barvocitu můžeme rozdělit podle stupně defektu na anomální trichromazii, dichromazii a monochromazii. Tyto poruchy dále dělíme na tři základní formy podle toho, která ze tří základních barev je vnímána chybně nebo vůbec.

- Červená - Protan
- Zelená - Deuteran
- Modrá - Tritan

Nejčastější vrozené poruchy barvocitu jsou spojeny s červenou a zelenou barvou, dohromady představují 99% z celkového počtu barvoslepých

Typ	Barva	Pohlaví	
		Muž	Žena
Achromatopsia			
Monochromazie			0,00003%
Dichromazie	Protanopia	1,01%	0,02%
	Deuteranopia	1,27%	0,01%
	Tritanopia	0,0001	
Anomální trichromazie	Protanomálie	1,08%	0,03%
	Deutranomálie	4,63%	0,36%
	Tritanomálie	0,0002%	

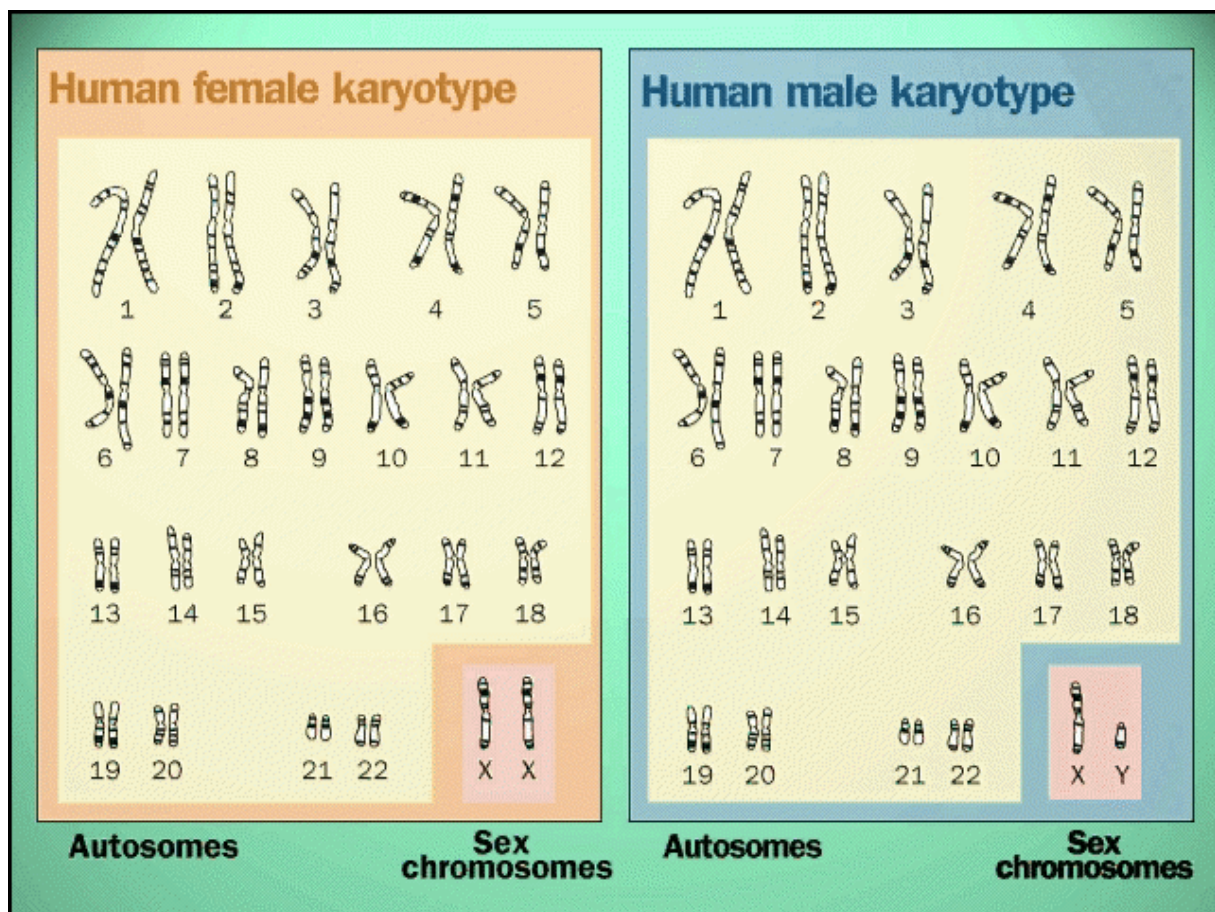
Tabulka 1 - Rozšířenost různých druhů poruch barvocitu[36]

Vrozené poruchy postihují 8% mužů, ale jen 0,4% žen. To je z toho důvodu, že barvoslepost je ve většině případů způsobena vadou na chromozomu X. Lidské tělo obsahuje celkem 23 párů chromozomů. Z těchto 23 párů je 22 autosomálních, to je takových, které jsou stejné pro obě pohlaví. Tyto chromozomy nazýváme čísly 1 až 22. Poslední pár se skládá ze dvou sex-chromozomů, které jsou označovány X a Y. Zatímco ženy nesou kombinaci XX, tak muži jsou nositeli kombinace XY. U mužů se tedy vyskytuje pouze jeden chromozom X a tak jeho poruchu není možné kompenzovat genetickou informací z druhého chromozomu X tak, jak je tomu u žen. U nich dochází k porušení barvocitu pouze v případě defektu na obou chromozomech. Obvykle tedy ženy jsou jen přenašečky poruchy barvocitu.

Toto platí pro nejrozšířenější druh barvosleposti, kterým je červeno-zelená barvoslepost. Podrobnější seznam chromozomů a jejich propojení s poruchami barvocitu můžeme vidět v tabulce 2.

Typ vrozené poruchy	Chromozóm
Deuteranomaly	X
Deuteranopia	X
Protanomaly	X
Protanopia	X
Tritanomaly	7
Tritanopia	7
Mondrá monochromazie	X
Achromatopsie	2 nebo 8

Tabulka 2 - Typ barvosleposti v závislosti na chromozomech [36]



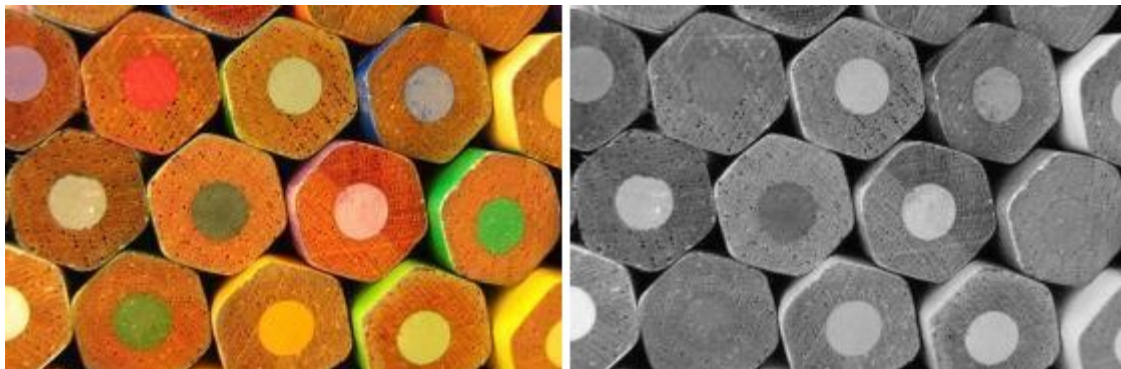
Obrázek 16 - Karyotyp [45]

4.3.1 Rozdělení vrozených poruch

Vrozené poruchy barvosleposti můžeme rozdělit podle několika kritérií. A to podle stupně defektu, podle toho, která ze základních barev je chybně vnímána anebo podle toho, co barvoslepý člověk vidí.

Rozdělení dle stupně poruchy s vnořeným rozdělením dle toho, která z barev je vnímána chybně

- **Achromatopsie** – Je velice vzácná porucha, také nazývána jako „celková barevná slepota“. Oko při ní nevnímá žádné barvy, vidění je černobílé s intermediárními odstíny. Je způsobená nepřítomností nebo nefunkčností všech tří druhů čípků. Ve většině případů je spojena s těžkou poruchou zraku, nystagmem (oční vada, která způsobuje nekontrolované, rychlé a trhavé pohyby očí) a fotofobie (neboli světloplachost)



Obrázek17 - Simulace achromatopsie [40]

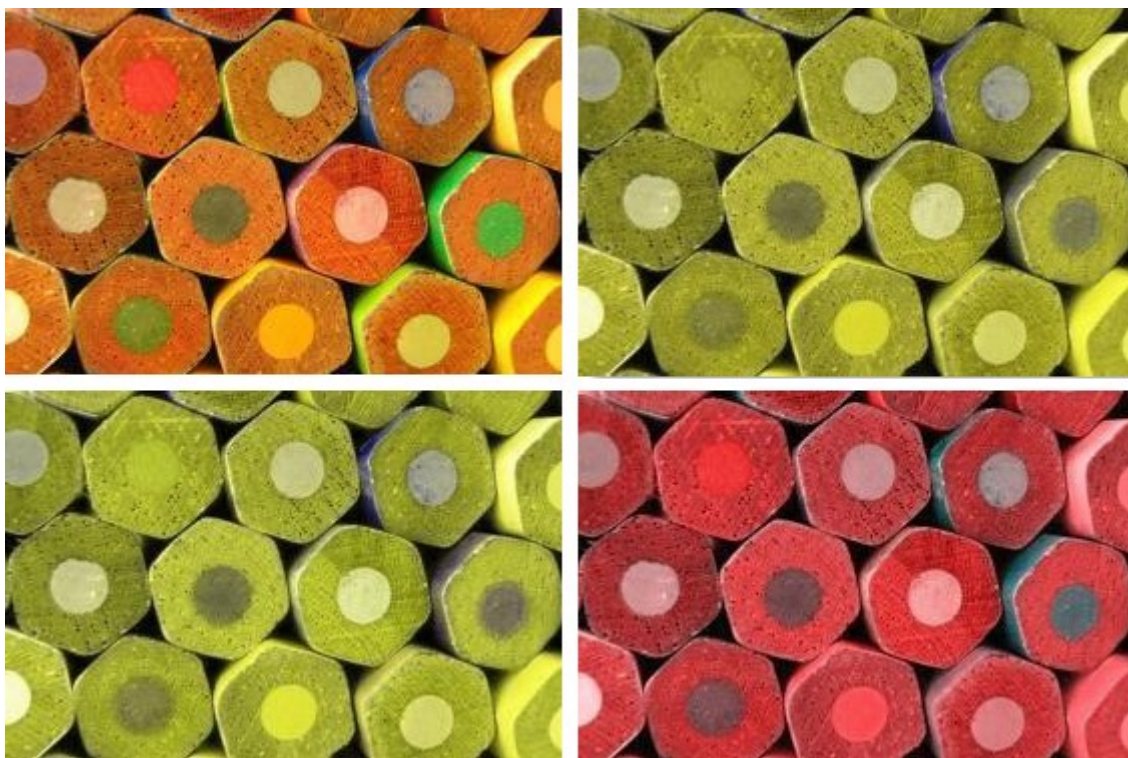
- **Monochromazie** – Porucha, při které je funkční pouze jeden druh čípků. Je tedy vnímána jen jedna barva, chybí vnímání dvou ostatních základních barev. Nejčastějším typem je modrá monochromazie, která je způsobena nefunkčními L- a M-čípky. Bývá spojována se stejnými očními poruchami jako achromatopsie.



Obrázek18 - Simulace modré monochromazie [40]

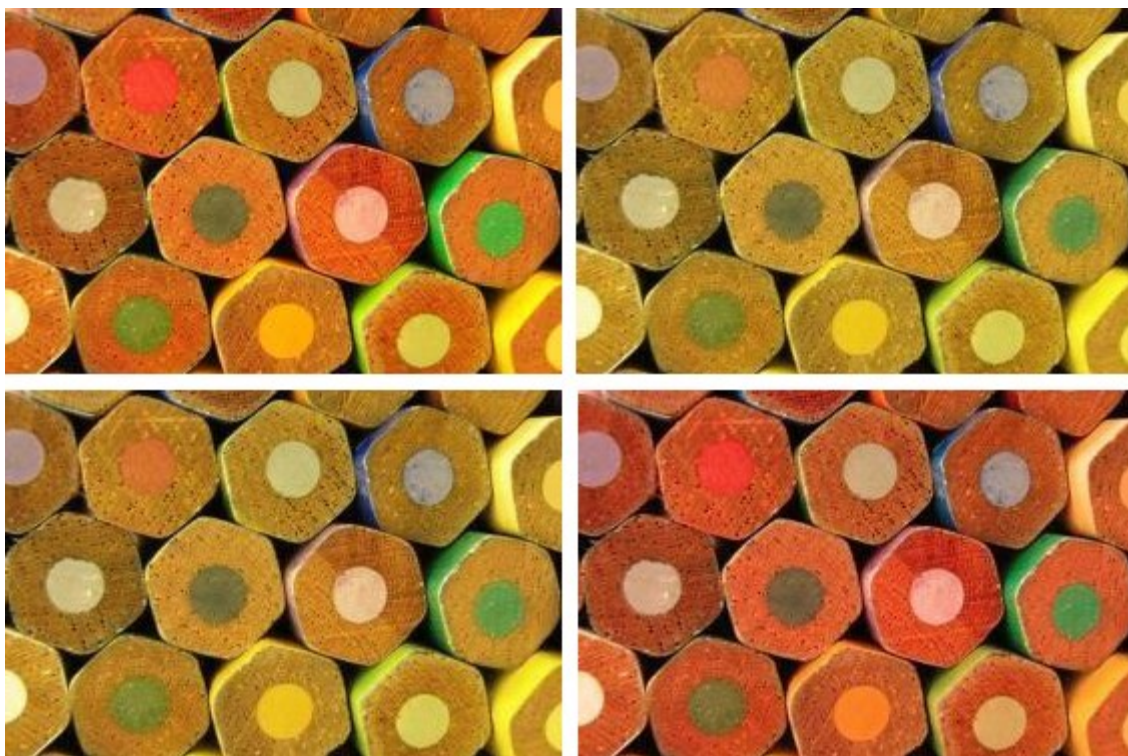
- **Dichromazie** – Porucha, při které jsou funkční pouze 2 druhy čípků. Jedna ze základních barev není tedy vnímána. Dichromazii můžeme dále rozdělit podle toho, která z barev není vnímána. Pro označení dichromazie používáme příponu -anopia.
 - **Protanopia** – Porucha při níž chybí nebo jsou zcela nefunkční čípky pro vnímání červené barvy. Tedy L-čípky. Ti kdo trpí touto poruchou, nejsou schopni rozlišit barvy červeno-zelené části spektra.

- **Deuteranopia** – Porucha při níž chybí nebo jsou zcela nefunkční číčky pro vnímání zelené barvy. Tedy M-číčky. Ti kdo trpí touto poruchou, nejsou schopni rozlišit barvy červeno-zelené části spektra.
- **Tritanopia** – Porucha při níž chybí nebo jsou zcela nefunkční číčky pro vnímání modré barvy. Tedy S-číčky. Ti kdo trpí touto poruchou, nejsou schopni rozlišit barvy modro-žluté části spektra



Obrázek 19 - Simulace dichromazie [40]

- **Anomální trichromazie** – Je nejčastější typ poruchy. Porucha kdy oko vnímá všechny tři základní barvy, ovšem se sníženou intenzitou pro některou z nich. Anomální trichromazii můžeme, tak jako u dichromazie, rozdělit podle toho která z barev je špatně vnímána. Pro jejich označení se používá přípona -anomálie
 - **Protanomálie** – Porucha při níž je oslabeno vnímání červené barvy a to z důvodu špatné funkce L-čípků. Ti kdo trpí touto poruchou, jsou schopni hůře rozlišit barvy červeno-zelené části spektra.
 - **Deuteranomálie** – Porucha při níž je oslabeno vnímání zelené barvy a to z důvodu špatné funkce M-čípků. Ti kdo trpí touto poruchou, jsou schopni hůře rozlišit barvy červeno-zelené části spektra.
 - **Tritanomálie** - Porucha při níž je oslabeno vnímání modré barvy a to z důvodu špatné funkce S-čípků. Ti kdo trpí touto poruchou, jsou schopni hůře rozlišit barvy modro-žluté části spektra.



Obrázek 20 - Simulace anomální trichromazie [40]

4.4 Získané poruchy

Získané poruchy barvocitu se mohou rozvinout i během života, způsobuje je celá řada onemocnění. Bývají součástí probíhajícího patologického procesu nebo jeho následkem. Jejich průběh příčina i rozsah barevných změn může být rozličná. V závislosti na stavu vyvolávající příčiny se porucha barvocitu zhoršuje, ale může se také zlepšovat. Znalost získaných poruch barvocitu v závislosti s některými závažnými chorobami je důležitá pro jejich správnou a včasnou diagnostiku.[10]

Mezi příčiny získaných poruch barvocitu patří onemocnění, které snižují průchodnost optických médií. Při kataraktě se mění struktura čočky, ta se postupně kalí a znemožňuje průchod krátkovlnným paprskům do oka. Dochází i k onemocnění sítnice tzv.jako je věkem podmíněné makulární degenerace či chlorochinové retinopatii, kdy je sníženo vnímání žluté a modré složky. Při neuritidách optiku či jiných poruchách zrakové dráhy dochází k poruchám vnímání červené a zelené barvy. [10]

Jednou z nejčastějších příčin barvosleposti jsou toxické látky. Změny ve vnímání barev se většinou projevují při dlouhodobějším působení. Nejdříve se projevují poruchy modrožluté složky a později i červenozelené. Do rizikových skupin patří styren, průmyslová hnojiva, hexan, rozpouštědla, karbon disulfid, některá antibiotika a barbituráty. Zvláštní skupinu tvoří tzv. barevné vidy. Říká se jim také chromatopsie, mají přechodný charakter. Jsou častým jevem při otravách způsobených např. nikotinem, chininem, skopolaminem, sirouhlíkem. Vytváří se při nich erytropsie neboli dočasné červené vidění, to může být vyvoláno také po silném oslnění oka. Větší vzácností jsou chloropsie – zelené vidění, kyanopsie – modré vidění nebo fialové vidění – iantinopsie. Xantopsie –

žlutavé vidění není tak vzácné, je poměrně častým průvodním jevem žloutenky anebo po salicylu, kyselině pikronové a santoninu. [8]

Zatímco vrozené poruchy se týkají stejně celého zorného pole obou očí, získané jsou často monokulární, nebo se týkají jen některého sektoru zorného pole jednoho popř. obou očí. Pacient si sám těchto výpadů nebývá vědom tím spíš, že často nejsou provázeny poklesem zrakové ostrosti. [1]

4.5 Vyšetřovací metody

Vyšetřovací metody barvocitu jsou založeny na tom, že lidé s poruchami barvocitu vidí jen určité části spektra, tedy mají omezenou schopnost rozlišování barev. To v praxi znamená, že při identifikaci barev si je pletou a zaměňují navzájem.

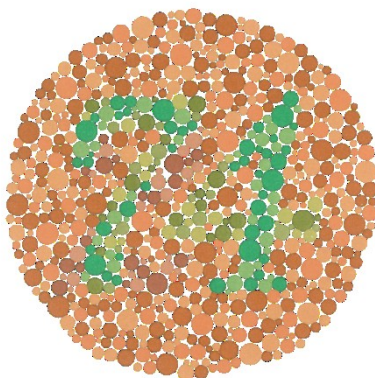
Většina lidí si pod pojmem vyšetření barvosleposti představí barevné tečkované obrázky s číslem nebo nějakým útvarem uprostřed. Ale toto není jediný, nejlepší a ani nejaktuálnější způsob testování. V dnešní době existuje mnoho různých vyšetřovacích metod.

V této kapitole si popíšeme několik základních testovacích metod.

4.5.1 Pseudoizochromatické tabulky

Pseudoizochromatické tabulky jsou nejznámějším typem testů pro určení poruchy barvocitu. Prvními pseudoizochromatickými tabulkami byly tzv. Ishiharovi tabulky, které publikoval v roce 1917 Dr. Shinobu Ishihara. V dnešní době existuje mnoho různých variant těchto tabulek od různých autorů. Stilling, Velhagen, Rjabkin, 24 HRR tabulky (Hardy, Rand a Ritter). Většina těchto tabulek je navržena pro klasifikaci červeno-zelené (Protan, Deutan) barvosleposti, pomocí těchto tabulek nerozeznáme tritan poruchy. Ale existují i tabulky pro klasifikaci tritan poruch, jako jsou 24 HRR tabulky.

Skládají se z většího počtu barevných tabulek, v nichž jsou na pozadí vyobrazeny různé útvary, nejčastěji číslice, písmena nebo geometrické obrazce. Tyto útvary jsou sestaveny pomocí teček různých barev, sytosti a jasu.



Obrázek 21 - Příklad Ishiharovi tabulky [46]

Sestava tabulek se většinou skládá z pěti různých typů tabulek, a to:

- Tabulky, které přečte jak člověk s normálním viděním, tak i barvoslepý – tyto tabulky bývají používány jako „past na simulanty“
- Tabulky, na kterých pouze lidé se správným barevným viděním uvidí znak (útvár) na pozadí. Lidé s poruchou barvocitu neuvidí nic.
- Tabulky, na kterých barvoslepí lidé uvidí jiný znak než lidé s normálním viděním.
- Tabulky, na kterých se nachází tzv. skrytý znak. Tento znak uvidí pouze lidé s poruchou barvocitu, lidé s normálním viděním tento znak neuvidí.
- Tzv. klasifikační tabulky, ty se používají pro určení typu barvosleposti – Protan, Deutan, Tritan

Při vážnějších chorobách se tyto tabulky používají pouze jako orientační vyšetření, které detekuje poruchu barvocitu a poté se přistupuje k dalším vyšetřovacím metodám.

4.5.2 Holmgrenovy bavlny

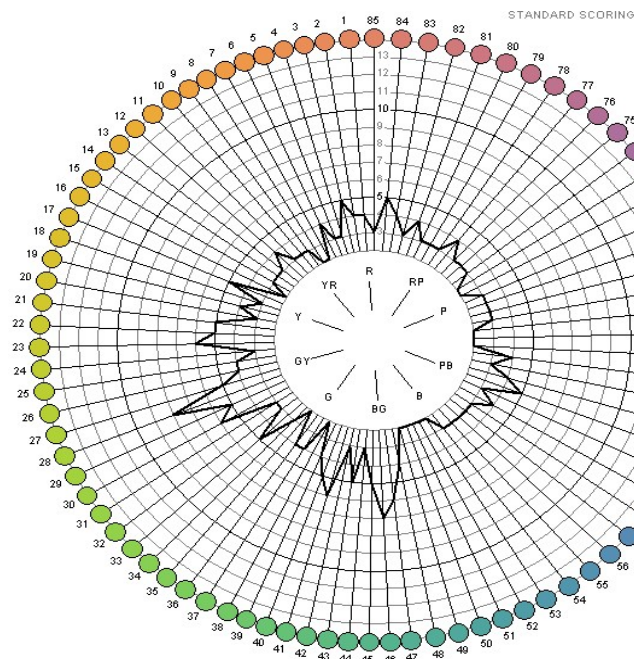
Holmgrenovy bavlny bývaly oblíbeny jako orientační vyšetření. Ze souboru různobarevných bavlnek měl vyšetřovaný k vybrané, ale nepojmenované najít další v různých odstínech téže barvy. Barvoslepý vybral i jiné barvy stejného jasů. [1]

4.5.3 Farmsworth-Munsell 100 Hue Test

Farmsworth-Munsell 100 Hue test je složen z 85 barevných terčů rozdělených do čtyř oddělení. Každý terč má jiný barevný odstín, jas a sytost jednotlivých barev je stejná. Tyto terče je potřeba seřadit do správného pořadí od červené k modré barvě, tak aby barevný rozdíl mezi dvěma sousedními terči byl co nejmenší. Správnost řazení se ověřuje pomocí pořadového čísla na spodní řadě terčů. Z pořadí terčů se vypočítá chybové skóre pro každý terč a celkové chybové skóre. Výsledky se znázorňují pomocí kruhového grafu (obr. 23).



Obrázek 22 - Farmsworth-Munsell 100-Hue Test [47]



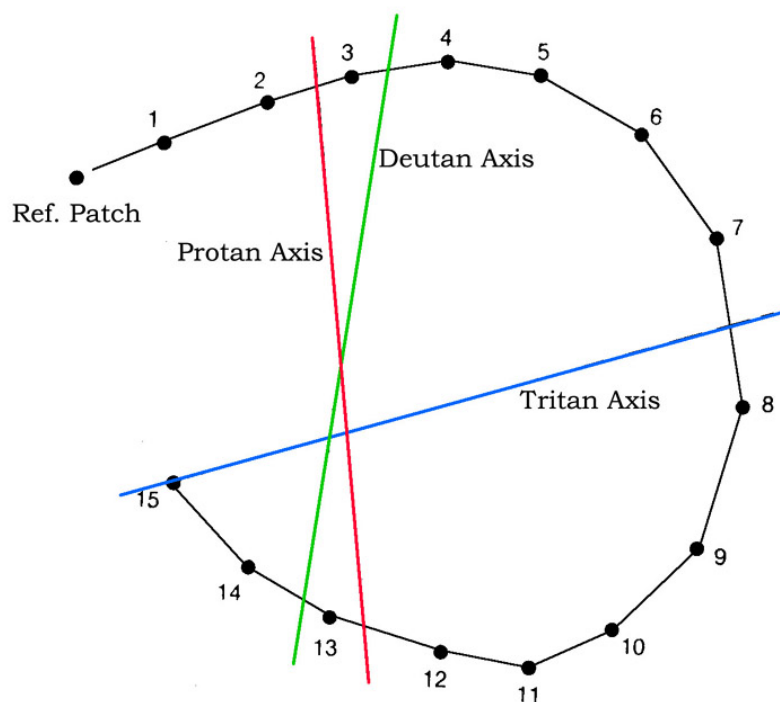
Obrázek 23 - Kruhový graf Farmsworth-Munsell 100-Hue Test [48]

4.5.4 Lanthonyho Desaturated 15 Hue Test

Jedná se o zjednodušenou modifikaci Farmsworth-Munsell 100-Hue Testu. Jak již název napovídá je složen pouze z 15 barevných terčů. Barvy jednotlivých terčů jsou desaturované - nejsou syté. To znamená, že jednotlivé terče nejsou v čistých spektrálních barvách, ale mají v sobě určitý podíl bílé barvy. Jejich seřazení by tedy mělo být náročnější. Výsledky se znázorňují do speciálního schématu (obr. 25), pomocí něhož určíme poruchu barvocitu.



Obrázek 24 - Lanthonyho Desaturated 15-Hue Test [49]



Obrázek 25 - Výsledkové schéma Lanthonyho Desaturated 15-Hue Test [50]

4.5.5 Anomaloskop

Anomaloskop je přístroj založený na detekci červeno-zelené barvosleposti. Přístroj stanoví přesně poruchu podle vlnové délky. Základem tohoto přístroje je kruhové pole rozdělené na dvě části. První část obsahuje čistou spektrální žlutou barvu, která se nedá měnit. Ve druhé části vyšetřovaná osoba aditivně mísí červenou a zelenou barvu, tak aby vytvořená barva odpovídala dané žluté barvě. Žlutá barva odpovídá spektrální barvě sodíku s vlnovou délkou 589nm, zelená barvě rtuti s vlnovou délkou 546 a červená barvě lithia s vlnovou délkou 671nm. Vyšetření probíhá monokulárně, tedy jedno očně. Tento přístroj je schopen odhalit i ty nejmenší odchylky ve vnímání barev a to s velmi velkou přesností. Zatímco deuteranomál při vyšetření přidá více zelené barvy, tak protanomál zase naopak přidá více červené barvy.



Obrázek 26 - Anomaloskop [51]

První anomaloskop byl představen v roce 1907, jednalo se o tzv. Nagelůvanomaloskop. Tento typ se už v dnešní době bohužel nevyrábí i přesto, že je považován za jeden z nejlepších. Jiné dobře známé typy jsou anomaloskop Neitz, HMC (Heidelberg MultiColor) nebo Pickford-Nicolson.

5 Slabozrakost

5.1 Slabozrakost

Zrakově postižení jsou lidé s různými druhy a stupni snížených zrakových schopností. Odhaduje se, že v české republice trpí zrakovým postižením přibližně sto tisíc lidí. Vedle lidí nevidomých, kteří nevidí vůbec nic nebo téměř nic, je tu i velká skupina slabozrakých. Tedy takových, u kterých nepostačuje běžná optická korekce a u nichž poškození zraku nějak ovlivňuje činnosti v běžném životě. (Mají potíže s orientací a pohybem v neznámém prostředí, se čtením, rozpoznáváním detailů a v mnoha dalších činnostech). Do těchto skupin tedy nezahrnujeme lidi, kteří nosí dioptrické brýle a s nimi dobře vidí. Abychom zdůraznili, že se jedná o vážnější zrakovou vadu, tak někdy mluvíme o těžce zrakově postižených. Tím máme na mysli skupinu zrakově postižených, u nichž právě onen vážný funkční důsledek zrakové vady zasahuje do běžného života, lidi, jimž už běžná brýlová korekce nepostačuje k plnému vidění. [16]

Při očním vyšetření se zkoumá zraková ostrost vyjádřená tzv. vizem udávaným zpravidla ve zlomku, kde první číslo znamená vzdálenost v metrech, ze které dotyčný čte a druhé číslo pak vzdálenost, ze které čte tu samou velikost písmene člověk s nepostiženým zrakem. (Vizus zdravého oka je tedy např.: 6/6). Vyšetření zrakové ostrosti do dálky se provádí nejčastěji na Snellenových optotypech, což jsou tabulky s řadami postupně se zmenšujících znaků. Dalším zkoumaným parametrem je velikost zorného pole. Toto pole může být v důsledku zrakové vady zúženo, omezeno nebo v něm může docházet k lokálním výpadkům - tzv. skotomům.[30]

5.2 Klasifikace zrakového postižení podle WHO

zdroj: Mezinárodní statistická klasifikace nemocí a přidružených zdravotních problémů - desátá revize (MKN-10), vydal Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR

Podle WHO (WorldHealthOrganization) je možné zařadit zrakově postiženého člověka do pěti kategorií.

1. **Střední slabozrakost** – zraková ostrost s nejlepší možnou korekcí: maximum menší než 6/18 (0,30) – minimum rovné nebo lepší než 6/60 (0,10); 3/10 – 1/10, kategorie zrakového postižení 1
2. **Silná slabozrakost** – zraková ostrost s nejlepší možnou korekcí: maximum menší než 6/60 (0,10) – minimum rovné nebo lepší než 3/60 (0,05); 1/10 – 1/20, kategorie zrakového postižení 2
3. **Těžce slabý zrak**
 - a. zraková ostrost s nejlepší možnou korekcí: maximum menší než 3/60 (0,05) – minimum rovné nebo lepší než 1/60 (0,02); 1/20 – 1/50, kategorie zrakového postižení 3

- b. koncentrické zúžení zorného pole obou očí pod 20 stupňů, nebo jediného funkčně zdatného oka pod 45 stupňů
4. **Praktická slepota** – zraková ostrost s nejlepší možnou korekcí 1/60 (0,02); 1/50 až světlocit nebo omezení zorného pole do 5 stupňů kolem centrální fixace, i když centrální ostrost není postižena, kategorie zrakového postižení 4

Úplná slepota – ztráta zraku zahrnující stavy od naprosté ztráty světlocitu až po zachování světlocitu s chybnou světelnou projekcí, kategorie zrakového postižení 5

5.3 Jak slabozraký člověk vidí?

Jak slabozraký člověk vidí? Částečná ztráta zraku může být způsobena mnoha různými příčinami a projevuje se především v následujících podobách, které se vyskytují samostatně nebo v kombinaci. [16]



Obrázek 27 - Snížení zrakové ostrosti [16]

Prvním nejčastějším projevem je rozostřené vidění (snížení zrakové ostrosti, obr. 27), při kterém je každý předmět nejasně viditelný a jeho obrysy nezřetelné. Míra rozostření je individuální. Někteří lidé si musí dávat objekty mimořádně blízko před oči, aby je viděli. Pozvolné klesání zrakové ostrosti provází celou řadu nemocí, jako např. šedý zákal (katarakta), chronický zelený zákal (glaukom), záněty sítnice a cévnatky nebo atrofie očního nervu.[16]

Další typický projev některých zrakových vad se týká zorného pole, tj. části prostoru, kterou postřehneme upřeným pohledem bez pohybu očí a hlavy. Jedna nebo více částí celého obrazu jsou rozostřené, deformované nebo zcela chybí. Takovému výpadku části zorného pole se říká skotom. Centrální skotom se objeví tehdy, je-li na sítnici zasaženo místo nejostřejšího vidění. Důsledkem bývají značné obtíže při čtení a rozpoznávání obličejů, obecně při vnímání detailů a barev. [16]



Obrázek 28 - Ztráta centrálního vidění [16]

Naopak při výpadcích v okrajové části (periferii) zorného pole nastávají potíže při pohybu a orientaci v prostoru, např. při sledování aut při přecházení vozovky. Pokud je oblast periferie zasažena pouze částečně, vidíme obraz se skvrnami nebo třeba jen část zorného pole. Je-li zasažena celá periferie, bývá důsledkem tzv. trubicové vidění, což si můžeme představit tak, jako bychom se dívali pouze úzkou trubičkou.[16]



Obrázek 29 - Výpadky v zorném poli [16]



Obrázek 30 - Trubicové vidění [16]

5.4 Pomůcky pro zrakově postižené

Pomůcky pro zrakově postižené rozdělujeme z hlediska praktického na kompenzační a rehabilitační. Kompenzační pomůcky jsou určeny pro zrakově nevidomé, zatímco rehabilitační pro osoby slabozraké.

Kompenzační pomůcky, jak již jejich název napovídá, slouží ke kompenzaci zrakového handicapu. Podporují rozvoj a využití hmatu, sluchu, chuti, vnímání tepla atd. Můžeme je rozdělit na pomůcky usnadňující orientaci a samotný pohyb. Pomůcky určené pro záznam informací a odstranění informační bariéry. A pomůcky pro každodenní život.

- Pomůcky usnadňující orientaci a samotný pohyb
 - Slepecké hole, akustické systémy pro snadnou orientaci, indikátory světla
- Pomůcky určené pro záznam informací a odstranění informační bariéry
 - Pichtovy psací stoje, tabulky na psaní, diktafony a magnetofony
 - Braillský řádek – tzv. hmatový zobrazovací terminál. Tento terminál se připojuje k PC a převádí textové informace z obrazovky do braillova písma, které pak zobrazuje
 - Speciální elektronický zápisník – obvykle se skládá z braillova klávesnice a hlasového výstupu.
- Pomůcky pro každodenní život
 - Kuchyňské potřeby, hodiny, teploměry, indikátory hladiny vody atd.

Rehabilitační pomůcky podporují rozvoj a využití zraku. Pracují na principu zvětšování sledovaného objektu. Zvětšení může probíhat třemi různými způsoby: zvětšením objektu, zkrácením vzdálenosti k objektu nebo zvětšením objektu pomocí optické pomůcky. Mezi rehabilitační pomůcky patří optické lupy, dalekohledové systémy, monokuláry a hyperokuláry.

Zvětšovací pomůcky mají i některé nežádoucí účinky. Při zvětšení sledované oblasti dochází současně ke zmenšení rozsahu zorného pole. Tato okolnost značně zhoršuje orientaci a sledování objektů v dálce a znesnadňuje práci do blízka. Pomůcky svými fyzikálně optickými vlastnostmi nutí pracovat na velmi krátkou pracovní vzdálenost. Tento fakt vede ve většině případů k monokulárnímu použití pomůcky a tím vyloučení nadměrného zatížení konvergence. Při použití zvětšovacího systému se výrazně zmenšuje i rozsah, který odpovídá druhé mocnině použitého zvětšení. Tím se však nepřímo zmenšuje i rozsah hloubkové ostrosti vidění. Postižený si tedy musí přesně nacvičit pozorovací vzdálenost. Negativní úlohu z pohledu pacienta zde sehrává i faktor estetický, který většině postižených neumožní stálé nošení pomůcky v zevním prostředí.[13]

6 Barvoslepost a PC

6.1 Barvoslepost a PC

Jak již jsme se dozvěděli v kapitole 4, barvoslepost se nedá léčit, ale je možné navrhnout prostředí a věci tak, aby lidé s touto poruchou pociťovali tuto poruchu co nejméně. Jak tedy využít počítač pro práci a pomoc lidem s tímto postižením? Tuto problematiku můžeme rozdělit do tří na sebe navazujících kroků.

1. Testování poruchy barvocitu a jeho vyhodnocení.
2. Simulace různých typů a úrovní poruch barvocitu.
3. Transformaci barev do viditelného spektra pro barvoslepé.

Vytvoření jednoduchého počítačového programu pro testování barvosleposti, simulaci barvosleposti a transformaci barev do viditelného spektra pro barvoslepé, by se v dnešní digitální době mohlo zdát snadným úkolem. Bohužel, toto není tak snadný úkol, jak by se mohlo zdát.

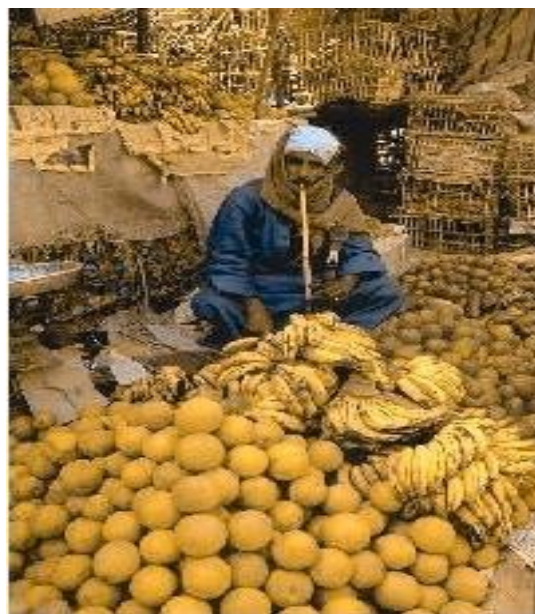
Přesné stanovení poruchy barvocitu se provádí pomocí anomaloskopu (viz. Kapitola 4.5.5). Anomaloskop využívá k testování čisté spektrální žluté barvy, kterou nelze na monitoru počítače přesně simulovat. A to z důvodu, že monitor obsahuje pouze tři základní barvy (RGB), z nichž aditivně míchá ostatní barvy. Dalším důvodem je to, že u každého počítačového monitoru se liší jeho barevný rozsah, jeho síla jasu a i zdroj barevného světla. Z tohoto důvodu je potřeba vykonávat testy jen na kalibrovaných monitorech.

Další otázkou také je, jak vlastně víme, co lidé trpící poruchou barvocitu vidí? Někteří lidé mají poškozené vnímání barev pouze na jednom oku. A díky jejich výpovědím se podařilo vytvořit modely reprezentující „barevný svět“ lidí s poruchou barvocitu. Tyto modely se v každé studii nepatrně liší a to z toho důvodu, že popis barev je založen subjektivně. V dnešní době existuje několik algoritmů pro počítačový převod do těchto modelů. Každý z těchto algoritmů využívá jiné studie, a proto i jejich výsledky se nepatrně liší.

Ukažme si na příkladu, jaké problémy mohou nastat v běžném životě pro barvoslepého člověka. Na obrázku 31 může člověk s normálním vnímáním barev vidět několik různých druhů ovoce a zeleniny. Pět druhů před prodavačem a tři druhy na policích za ním. Zatímco člověk s některým typem červeno-zelené barvosleposti by obrázek vnímal podobně, jako je ukázáno na obrázku 32. Můžeme si všimnout, že na obrázku lze nyní vidět pouze tři různé hromady před prodavačem a také lze těžko rozpoznat kolik druhů ovoce a zeleniny je na policích. [32]



Obrázek 31 - Normální barevné vidění [32]



Obrázek 32 - Červená-zelená porucha barvocitu [32]

Z tohoto příkladu vyplývá, že barvoslepému člověku chybí mnoho informací o detailech, které jsou zprostředkovány normálním barevným viděním. Bohužel, v dnešní době neexistuje efektivní způsob, jak obnovit plné barevné vidění. V běžném životě se pro zlepšení barevného vidění používají různá zařízení (jako jsou barevné kontaktní čočky, různé brýlové filtry atd.), ale barvoslepi lidé s nimi dosahují velmi rozdílných výsledků. Na počítači můžeme využít techniky transformace barev tak, aby bylo na obrázku co nejvíce detailů rozpoznatelných pro barvoslepe.

Existují dva způsoby, jak můžeme tyto transformace provést:

- Nejlehčím způsobem je zvýšit kontrast mezi červenou a zelenou barvou, pro lidi trpící protan nebo deuteran defektem. Nebo zvýšit kontrast mezi modrou a žlutou, pro lidi trpící tritan defektem. Zvyšování kontrastu mezi těmito barvami zvyšuje pravděpodobnost rozpoznat detaily v obrázku. [32]
- Druhou možností je analyzovat barvy, které jsou obtížně rozpoznatelné pro člověka s poruchou barevného vidění a převést je na barvy rozpoznatelné. Pro člověka trpícího protan nebo deuteran defektem je to přemapování červeno/zeleného spektra do modro/žlutého. Pro tritan zase naopak. [32]

Z důvodu, že barvoslepy člověk může trpět kombinací poruch, je dobré tyto dva způsoby kombinovat. [32]

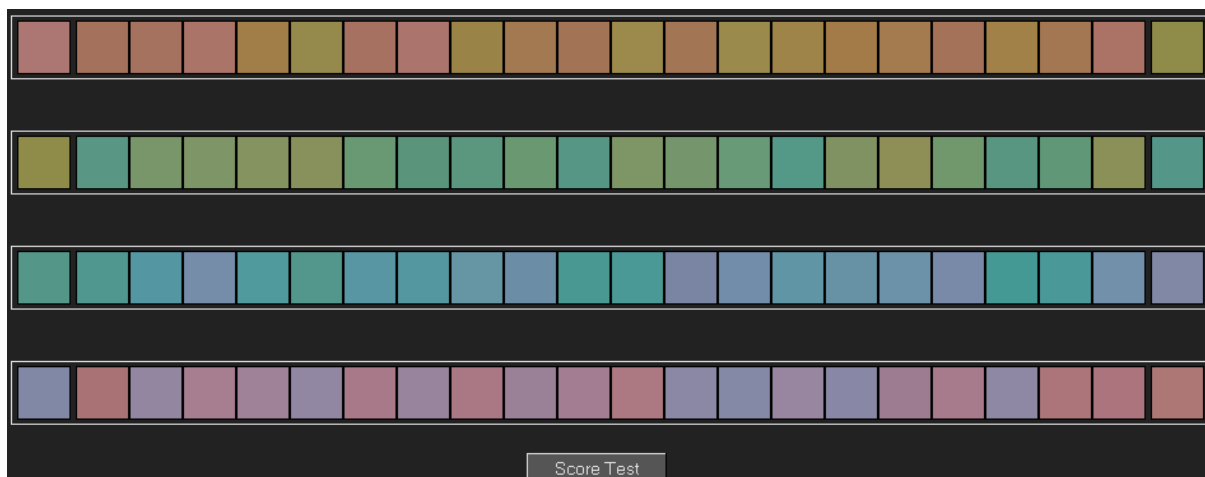
6.2 Dostupné testy na PC

V dnešní době internetu existuje mnoho stránek, které nabízejí testy či testování barvosleposti. Velká většina z nich nám nabízí pouze pár pseudoizochromatických tabulek, bez jakéhokoliv dalšího popisu, či vyhodnocení výsledků. Najdou se však i stránky, které nám poskytují zajímavé možnosti.

6.2.1 FM 100 Hue Test

Odkaz: http://www.xrite.com/custom_page.aspx?PageID=77&Lang=en

Na těchto stránkách najdeme implementaci Farmsworth-Munsell 100-Hue Testu. Samotný test má velmi dobře řešené ovládání, kdy jednotlivé terčíky přesouváme na správná místa pomocí myši. Velkou nevýhodou této implementace je, že neposkytuje podrobnější výsledky. Výsledek samotného testu je zobrazen pouze pomocí sloupcového grafu a hodnoty celkového chybového skóre.



Obrázek 33 - Počítačová reprezentace Farmsworth-Munsell 100-Hue Testu [52]

6.2.2 Web-basedscoring software

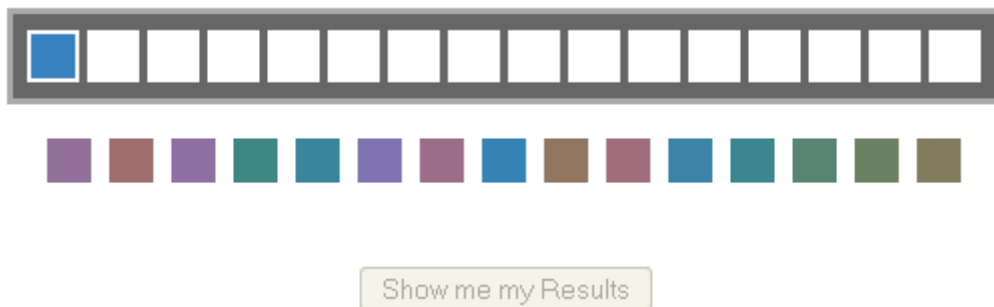
Odkaz: http://www.torok.info/colorvision/dir_for_use.htm

Na těchto stránkách nalezneme webový software pro vyhodnocování tří druhů testů. A to Farmsworth-Munsell 100-Hue Testu, Roth 28-Hue Testu a D-15 Hue Testu. Výsledky testů jsou zobrazovány pomocí speciálních schémat, určených pro jednotlivé testy. Aplikace dále vypočítá celkové chybové skóre a určí poruchu barvocitu. Normativní data pro různé věkové skupiny čerpá z několika různých zdrojů, a to [18] [19].

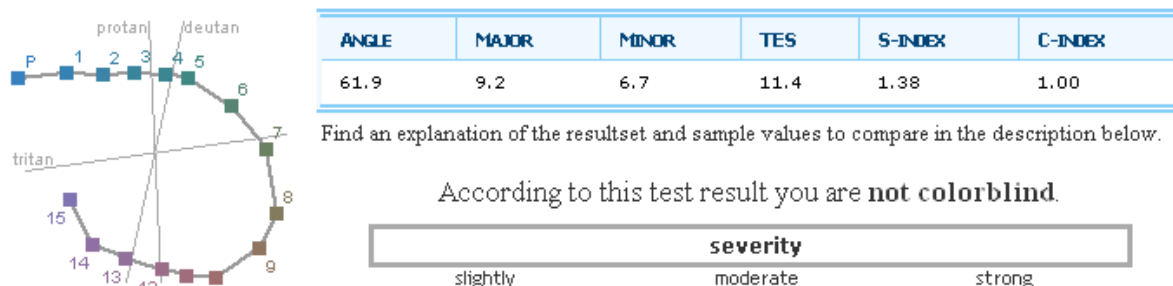
6.2.3 Color arrangement test

Odlaz: <http://www.colblindor.com/color-arrangement-test/>

Na této stránce najdeme implementaci Farmsworth D-15 Hue Testu. Test se ovládá pomocí myši, kdy jednotlivé terčíky umísťujeme do správného pořadí. Výsledek testu je zobrazen pomocí speciálního schématu a vypočítán pomocí Vingrys and King-Smith metody pro určení typu barvosleposti.



Obrázek 34 - Počítačová reprezentace Farmsworth D-15 Hue Testu [38]



Obrázek 35 - Ukázka vyhodnocení Farmsworth D-15 Hue Testu [38]

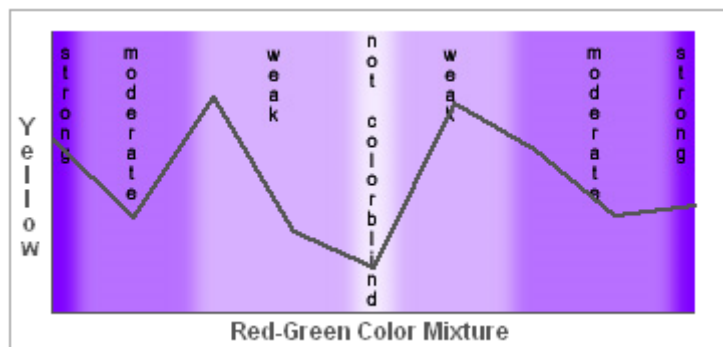
6.2.4 RGB Anomaloscope

Odlaz: <http://www.colblindor.com/rgb-anomaloscope-color-blindness-test/>

Jedná se o jednoduchý program, snažící se simulovat anomaloskop pomocí RGB monitoru. Jak sám autor uvádí, program bohužel nedosahuje úplně přesných výsledků (to je způsobeno důvody uvedenými v kapitole 6.2).

Program je rozdělen na dvě barevné plochy. V pravé se nachází udaná barva. V levé barva, kterou se snažíme pomocí posuvníku nastavit tak, aby se shodovala s barvou vpravo. Pokud se nám povede najít shodné barvy, stiskneme tlačítko „Match OK“. Pokud shodu nenajdeme, stiskneme tlačítko „No Match possible!“.

Výsledky jsou poté zobrazeny jednoduchým grafem (obrázek 36).



Obrázek 36 - Anomaloskop graf [39]

6.3 Dostupné simulace poruch a transformace barev

Tak jako u testů barvosleposti, tak i pro simulaci poruch barvosleposti a transformaci barev do viditelného spektra pro barvoslepé, existuje v dnešní době na internetu několik specializovaných stránek a programů. Nejčastější jsou aplikace, které na obrázcích simulují poruchu barvosleposti, pro všechny známe poruchy. Najdou se i takové, které tuto simulaci provádí nad webovými stránkami a díky nim si můžou lidé s normálním barevným viděním vyzkoušet, jak internetové stránky vnímají lidé s poruchou barvocitu. Tyto aplikace mohou být využity také tvůrci webových stránek, aby mohli co nejlépe uzpůsobit stránky tak, aby je bez problémů mohl používat i člověk s poškozeným barevným viděním. V této kapitole si představíme, některé z nich.

6.3.1 Vischeck.com

Odlaz: <http://vischeck.com/>

Jedná se o jednu z nejkompexnějších stránek. Obsahuje jak aplikaci pro simulaci poruch barvosleposti, tak i pro transformaci barev do viditelného spektra pro barvoslepé.

Aplikace pro simulaci poruch se nazývá Vischeck. Můžeme si ji vyzkoušet jak v online režimu, pro své vlastní obrázky nebo webové stránky. Tak i stáhnout jako plugin do Photoshopu (pro Windows, Macintosh OSX a OS9) nebo plugin do ImageJ. Aplikace využívá algoritmu popsaného pány H. Brettel, F. Vienot a J. D. Mallon. Nevýhodou je nemožnost nastavit úroveň poruchy, simulace probíhá pro Dichromazii (Protanopia, Deutanopia a Tritanopia). Další nevýhodou je, že zpracování obrázku či webové stránky může nějakou dobu trvat.

The screenshot shows the Seznam.cz homepage. At the top is the Seznam logo and a search bar with a 'Hledej' button. Below the search bar are links for 'Internet', 'Firmy', 'Mapy', 'Slovník', 'Zboží', and 'Více'. There are also radio buttons for 'Česky' and 've světě'. The main content area is divided into several sections: 'Může se hodit' (Useful links), 'Email.cz' (Email services), 'Firmy.cz' (Company listings), and 'Novinky.cz' (News). The 'Může se hodit' section contains links to various categories like Auto / Moto, Bazar, Denní tisk, Dovolena, Finance, Hry, Lidé, Mapy, Práce, Pro ženy, Reality, Seznamka, SMS brána, Spolužáci, Ubytování, Videoklipy, Výuka jazyků, and Vše. The 'Email.cz' section has a login form with fields for 'Jméno' and 'Heslo', and a 'Přihlásit' button. The 'Firmy.cz' section has a 'Přidej firmu zdarma' button and a list of categories like Autobazary, Dětské zboží, Erotika, Hračky a hry, Letenky, Obchodní stavby, Pošta, Sport, Ubytování, Auto-moto, Doprava, E-shopy, Jazyk školy, Mobily, Okna a dveře, Práce, Stavebnictví, Úřady, Cestování, Dům a zahr., Finance, Kuchyně, Nábytek, Pneumatiky, Realita, Stěhování, Zábava, Deníky, Elektro, Fitness, Lázně, Nářadí, Počítače, Remeslníci, Školy, and Zdraví. The 'Novinky.cz' section features a news article about a military aircraft crash in Biskupice.

Obrázek 37 - Simulace protanope poruchy nad <http://www.seznam.cz> [31]

Další aplikací, kterou na této stránce nalezneme, je aplikace Daltonize. Tato slouží pro transformaci barev do viditelného spektra pro barvoslepé. Pro převod obrázků používá kombinaci transformačních metod zmíněných výše. Aplikace nám také umožňuje definovat koeficient síly pro korekci červeno-zeleného i modro-žlutého spektra, tak i úroveň korekce svítivosti.

Výsledek transformace aplikace Daltonize můžeme vidět na obrázku 38. Výsledek je rozdělen na čtyři části. Vlevo nahoře se nachází námi zvolený obrázek (Original Image), vpravo nahoře ukázka simulace jak tento obrázek vidí člověk s poruchou Deuteranope (Deuteranope Simulation). Všimněme si, že červená a zelená tužka se jeví člověku s touto poruchou stejně. Vlevo dole pak můžeme vidět, jak aplikace transformovala originální obrázek tak, aby byl lépe viditelný pro člověka s poruchou barvocitu (Daltonized Image). Vpravo dole se pak nachází ukázka toho, jak transformovaný obrázek vidí člověk s poruchou barevného vidění (Deuteranope Simulation of Daltonized Image). Na obrázku můžeme vidět, že červená a zelená tužka jsou již od sebe barevně rozeznatelné.

Try Daltonize on Your Image Files

Your Results:

Original Image



Deuteranope Simulation



Daltonized Image Deuteranope Simulation of Daltonized Image



Obrázek 38 - Ukázka funkce programu Daltonize [32]

6.3.2 Color-Blindness Simulators

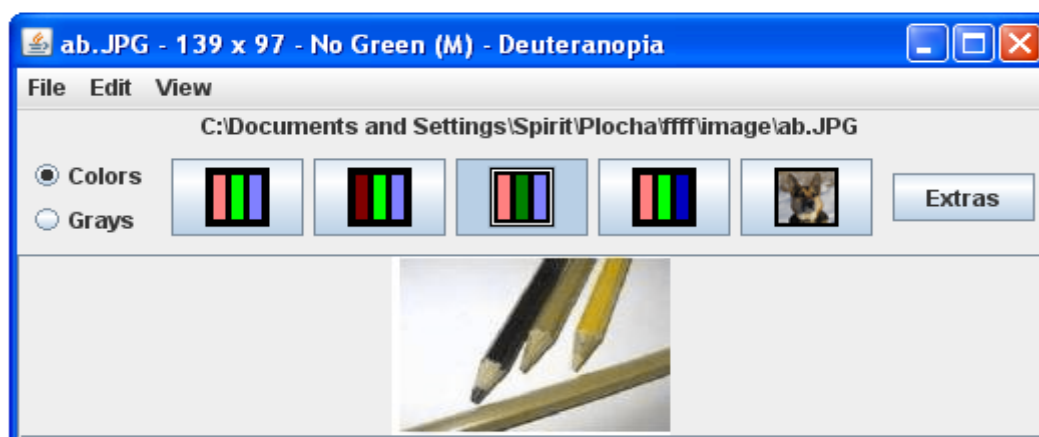
Odlaz: <http://homepage.mac.com/lpetrich/ColorBlindnessSim/ColorBlindnessSim.html>

Tento program je navržen tak, aby simuloval různé poruchy barvocitu, umožňuje nám nastavit i úroveň poruchy. Zajímavostí tohoto programu je možnost podívat se na svět nejen očima barvoslepečého člověka, ale i očima „nejlepšího přítele člověka“, psa. Psi vidí pouze dlouhé a krátké vlnové délky světla, tzn. že trpí červeno-zelenou barevnou slepotou. Pro svou funkci aplikace využívá lineární filtr, který byl naimplementován na algoritmus H. Brettel, F. Vienot a J. D. Mallon.

Tento simulátor existuje v několika podobách.

- Jako webová stránka pro internetové prohlížeče s podporou SVG filtrů, která slouží pro simulaci webových stránek.

- Jako samospustitelná aplikace s GUI, sloužící k simulaci nad obrázky. Autor na webové stránce poskytuje i zdrojové kódy pro vývojové prostředí Java.
- Jako plugin pro Photoshop a Gimp.



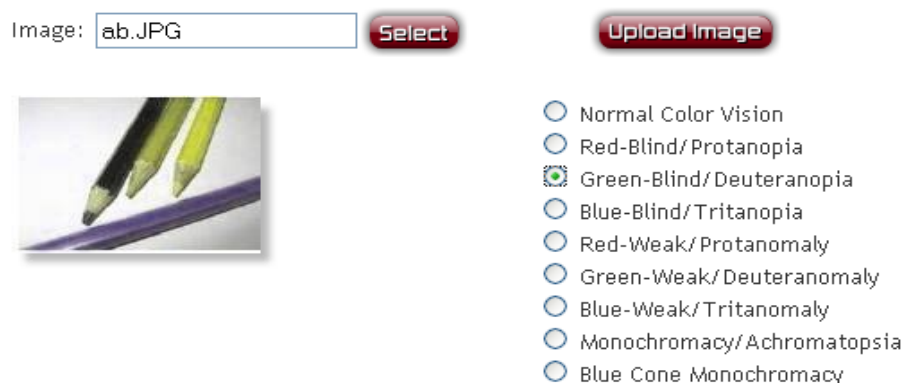
Obrázek 39 - Ukázka funkce programu Color-Blindness Simulators [33]

6.3.3 Coblis – Color Blindness Simulators

Odlaz: <http://www.colblindor.com/coblis-color-blindness-simulator/>

Tato webová stránka nám umožňuje simulaci obrázků tak, jak je vidí barvoslepí. Nabízí nám možnost vidět obrázky tak, jak je vidí lidé se slabou poruchou (anomálií), až po to, jak svět vidí lidé s Achromatopsií. Tento algoritmus využívá pro simulaci Color Blindness matici, která byla navržena stránkou <http://www.colorjack.com/>.

Na obrázku 40 můžeme vidět, jak tato aplikace funguje. Všimněme si rozdílného výsledku, dosaženého tímto algoritmem a předchozími dvěma simulačními aplikacemi, které využívaly H. Brettel, F. Vienot a J. D. Mallon algoritmu.



Obrázek 40 - Ukázka funkce programu Coblis – Color Blindness Simulators [40]

7 Implementace

7.1 Analýza požadavků

Úkolem této diplomové práce bylo vytvořit komplexní program pro testování, simulaci poruch barvocitu a následnou pomoc barvoslepým a slabozrakým lidem.

Pro testování poruch barvocitu byl vybrán Farmsworth-Munsell 100-Hue Test. Tento test byl vybrán z toho důvodu, že postupem času se ukázalo, že je velmi užitečný při detekci, diagnostikování a vyhodnocování jak vrozených tak i získaných poruch barevného vidění. Požadavek je takový, aby tento test bylo možné v aplikaci jak vykonat, tak i zadat pouze jeho výsledky, získané nepočítačovým testováním. Dále tyto výsledky podrobně zpracovat a zobrazit pomocí různých grafů a tabulek.

Další úkolem je přiblížit lidem s normálním barevným viděním, jak lidé s poruchou barvocitu vlastně vidí. A to za pomoci simulace různých vad a úrovní barvocitu nad statickými obrázky. Na tento úkol navazuje další, který spočívá v transformaci barev do viditelného spektra pro barvoslepe. Tyto transformace jsou prováděny opět nad statickými obrázky a mají za úkol barvoslepému „zviditelnit“ co nejvíce detailů v těchto obrázcích.

Posledním úkolem je implementace jednoduché „počítačové lupy“, která bude sloužit jako nástroj pro pomoc slabozrakým lidem.

7.2 Použité vývojové prostředky

K implementaci požadované aplikace jsem využil objektově orientovaného programovacího jazyku Java a implementačního prostředí Eclipse (Platform 3.5.1). V tomto prostředí jsem implementoval jak funkční část programu, tak i grafické uživatelské rozhraní GUI. K implementaci GUI bylo využito z převážné většiny knihovny AWT, ale některé části využívají i knihovny SWING. K zobrazení grafů bylo využito knihovny JFreeChart (<http://www.jfree.org/jfreechart/>). Tato knihovna je zcela zdarma a slouží Java vývojářům k zobrazení profesionálních grafů v jejich aplikacích.

7.3 Popis řešení a algoritmů

V této podkapitole si popíšeme jednotlivá řešení daných požadavků na aplikaci. A také si přiblížíme jednotlivé algoritmy, využívané k řešení daných problémů.

7.3.1 Farmsworth-Munsell 100 Hue Test

Jak již bylo řečeno výše, požadavek je takový, aby tento test bylo možné jak vykonat, tak i zadat pouze jeho výsledky, získané nepočítačovým testováním a dále tyto výsledky zpracovat. Návrh a samotné řešení tohoto problému by se dalo rozdělit do tří částí.

1. Zadání vstupních požadavků na test a informací o pacientovi
2. Samotné provedení testu a získání výsledku
 - a. Získání výsledků počítačovým testováním
 - b. Zadání výsledků nepočítačovým testováním

3. Vyhodnocení výsledků testu

- a. Výpočet výsledků testu
- b. Zobrazení grafů výsledků
- c. Zobrazení grafů a tabulek diferencí RGB modelu

Add 1. Zadání vstupních požadavků na test a informací o pacientovi

Tento krok bude proveden pomocí vstupního formuláře, který bude prakticky stejný pro oba typy získání výsledků. Liší se pouze v kolonce pro zadání doby trvání samotného testu, která bude k dispozici pouze u nepočítačového testování. A to z důvodu, že dobu trvání počítačové testování jsme schopni změřit při samotném testu. Vstupní formulář bude obsahovat požadavky na informace o pacientovi, tak i požadavky na informace o testu.

Vstupní požadavky jsou

- Jméno pacienta
- Věk pacienta
- Doba trvání testu (přístupný pouze u nepočítačového testování)
- Datum provedení testu
- Možnost zvolit typ testu, a to Binocular (test, kdy se díváme oběma oky) nebo Monocular (test kdy se díváme pouze jedním okem)
- Možnost zvolit, kterým okem se díváme při Monocular testu
- Možnost simulace testu tak, jak jej vidí lidé s poruchou barvocitu
 - Zadání úrovně Protan vady
 - Zadání úrovně Deuteran vady
 - Zadání úrovně Tritan vady

Add 2a. Získání výsledků počítačovým testováním

Spočívá v implementaci samotného Farnsworth-Munsell 100-Hue Testu tak, aby byl co nejlépe pochopitelný a ovladatelný testovanou osobou. Testovaná osoba má pouze za úkol, pomocí klávesnice a myši, provést test tak, jako by jej prováděla v nepočítačovém testování. A aplikace se stará o vše ostatní.

- Náhodné zobrazení jednotlivých barevných terčů při startu testu
- Simulace testu do různých úrovní a typů poruch barevného vidění
- Zobrazení uživatelem tříděných terčů
- Měření doby trvání testu
- Získání výsledku testu při jeho úspěšném ukončení

Jednotlivé barevné terčíky jsou zadány do aplikace pomocí barevného modelu RGB, a to pomocí 8bitů na barevnou složku, čímž tedy získáme 256 možností intenzity každé barvy.

Add 2b. Zadání výsledků nepočítačovým testováním

Na uživateli je, aby zadal výsledky získané nepočítačovým testováním do aplikace. Toto zadávání probíhá do přehledného formuláře, který je formátován jako samotný test. Tedy po dvaadvaceti vstupních kolonkách, které představují jednotlivé barvy, ve čtyřech řádcích. Samotná aplikace pak informuje uživatele o správnosti zadaného výsledku.

Tento formulář je také možné použít pro editaci již dříve počítačově vykonaných nebo ručně zadaných výsledků testů.

Add 3a. Výpočet výsledků testu

Výpočet výsledků testu se provádí výpočtem hodnoty chyb pro každý barevný terčík. Hodnota chyby terčíku neboli skóre terčíku, se vypočítá jako součet absolutních hodnot rozdílů mezi číslem terčíku a čísly terčíků přiléhajících. Tato definice se může zdát dost složitá, ale ve skutečnosti tomu tak není.

Pojďme si to ukázat na jednoduchém příkladu. V tabulce 3 můžeme vidět postup, jak probíhá výpočet skóre pro jednotlivé terčíky. Na pozici 2, kde by se při správném seřazení barevných terčíku měl nacházet terčík s číslem 2, se nachází terčík s číslem 3. Absolutní hodnoty rozdílů tohoto terčíku s čísly terčíků sousedních jsou 2 ($|1 - 3| = |-2| = 2$) a 5 ($|3 - 8| = |-5| = 5$). Skóre terčíku se pak vypočítá jednoduchým součtem těchto dvou hodnot. Skóre terčíku na pozici 2 je tedy 7 ($2 + 5 = 7$). Stejný postup pak budeme aplikovat pro všechny další pozice terčíků. Ale jak vypočítáme hodnotu terčíku pro pozici 1 a 85, které mají pouze jednoho souseda? Jednoduše za rozdíl u chybějícího terčíku dosadíme hodnotu 1. V našem příkladě je tedy u terčíku na pozici 1 skóre 3 ($1 + |1 - 3| = 1 + 2 = 3$).

Pozice	1	2	3	4	5	6	...
Číslo terčíku	1	3	8	2	5	9	...
Rozdíly čísel terčíků	1+2	2+5	5+6	6+3	3+4	4+...	...
Skóre terčíku	3	7	11	9	7

Tabulka 3 - Výpočet skóre pro jednotlivé terčíky

Minimální hodnota skóre terčíku je 2. Pokud dosáhneme výsledku kdy skóre všech terčíků je 2, znamená to, že jsme test vykonali bez jakékoliv chyby, tedy všechny terčíky jsme umístili na správné místo. Celkové chybové skóre takového testu je 0. **Celkové chybové skóre** (TES) vypočítáme jako součet jednotlivých skóre všech terčíků, od kterých odečteme hodnotu 2 a to z důvodu minimální hodnoty skóre terčíku.

Celkové chybové skóre můžeme vypočítat také pro přechod barev červeno-zelená a modro-žlutá. Toto skóre nazýváme jako dílčí celkové chybové skóre (TPES). Dílčí celkové chybové

skóre pro přechod červená-zelená vypočítáme jako součet skóre terčíku na pozici 13-33 a 55-75 a pro přechod modro-žlutá součtem skóre terčíků na pozicích 1-12, 34-57 a 76-85.

Počítačový algoritmus pro výpočet skóre jednotlivých terčíku, celkové chybové skóre a dílčích celkových chybových skóre, může být spojen do jednoho cyklu. A mohl by vypadat takto:

```
List<Integer> SeenList = getHueTestResult();
List<Integer> scoreCap = new ArrayList<Integer>();
int leftCap, rightCap;
int TES = 0, rgTPES = 0, byTPES = 0;

for(int i=0;i<SeenList.size();i++){
    if(i=0){
        leftCap = 1;
        rightCap = Math.abs(SeenList.get(i) - SeenList.get(i+1));
        scoreCap.add(leftCap + rightCap);
    }else if(i=84){
        leftCap = Math.abs(SeenList.get(i-1) - SeenList.get(i));
        rightCap = 1;
        scoreCap.add(leftCap + rightCap);
    }else{
        leftCap = Math.abs(SeenList.get(i-1) - SeenList.get(i));
        rightCap = Math.abs(SeenList.get(i) - SeenList.get(i+1));
        scoreCap.add(leftCap + rightCap);
    }
    TES += scoreCap(i) - 2;

    if(((i >= 12) && (i<=32)) || ((i >= 54) && (i<=74))){
        rgTPES += scoreCap.get(i)-2;
    }

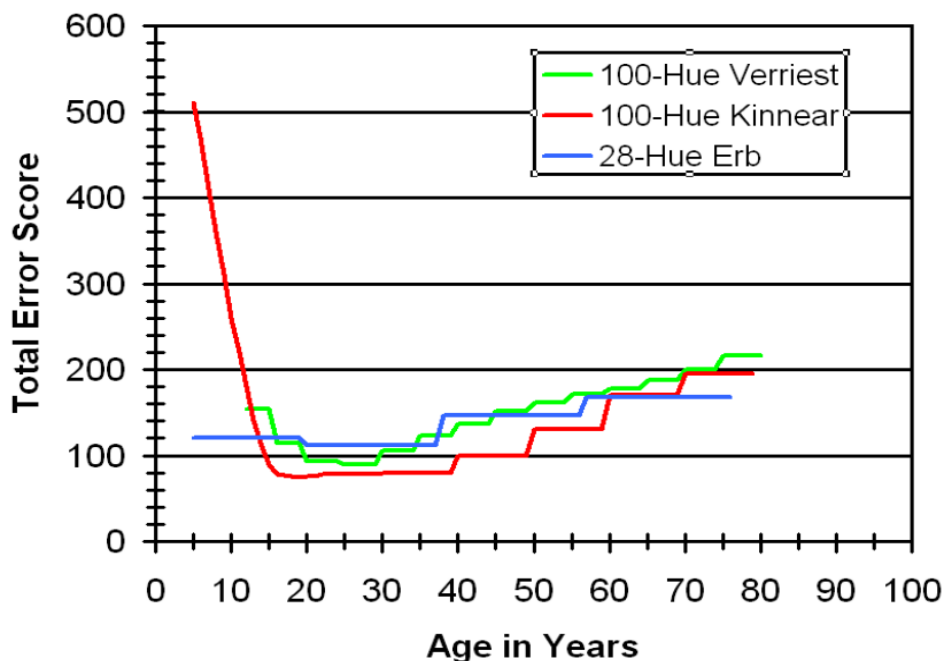
    if(((i >= 0) && (i<=11)) || ((i >= 33) && (i<=53)) || ((i >= 75)
&& (i<=84) || i==0)){
        byTPES += scoreCap.get(i)-2;
    }
}
```

Do SeenList-u načteme výsledek HueTestu a to čísla terčíků. scoreCap list nám slouží pro uložení jednotlivých skóre terčíků. leftCap, rightCap slouží jako pomocné proměnné pro výpočet absolutních hodnot rozdílů sousedních terčíků. Proměnná TES pro výpočet a uložení celkového chybového skóre. A proměnné rgTPES a byTPES pro výpočet a uložení dílčích celkových chybových skóre.

Celkové chybové skóre nám značí, jestli testovaná osoba trpí poruchou barvocitu nebo ne. A to podle hodnoty **kritického chybového skóre**. Kritické chybové skóre se liší podle věku testované

osoby. Existuje několik výzkumů, které se zabývají kritickým chybovým skóre. Pro Farnsworth-Munsell 100-Hue Test, jsou nejpoužívanějšími:

- G. Verriest, J. Van Laethem, A. Uvijls: A new assesment of the normal ranges of the 100-hue total scores [18]
- P. R. Kinnear, A. Sahraie: New Farnsworth-Munsell 100 hue test norms od normal obsels for each year of age 5-22 and for age decased 30-70 [19]



Obrázek 41 - 95% úroveň spolehlivosti celkového chybového skóre v závislosti na věku [35]

Pokud testovaná osoba dosáhne úrovně kritického chybového skóre, znamená to, že na 95% ji můžeme prohlásit za osobu s poruchou barvocitu. Ve výzkumu „A new assesment of the normal ranges of the 100-hue total scores“, se uvádí i hodnoty kritického chybového skóre pro přesnost 98%, 99% a 99,9%. Na výsledky tohoto výzkumu se můžete podívat v tabulce 4.

	Monocular				Binocular			
age / přesnost	95%	98%	99%	99.9%	95%	98%	99%	99.9%
12	193	219	234	286	154	169	182	225
16	135	154	166	222	114	132	146	182
20	110	125	138	189	93	110	123	159
25	104	120	132	182	89	108	119	158
30	110	128	139	188	106	125	140	182
35	124	144	154	204	123	146	161	207
40	142	164	177	231	137	161	184	230
45	164	188	204	264	151	177	192	246
50	213	240	262	328	172	199	213	272
60	234	262	286	335	178	204	222	279
65	256	284	305	384	188	215	231	289
70	281	315	339	420	200	228	246	299
75	317	353	380	462	216	243	262	317

Tabulka 4 - Hodnoty kritického chybového skóre podle [18]

Pro naši aplikaci jsme využili právě tohoto výzkumu a hodnoty přesnosti 95%, které jsou běžně používány. Jak si můžeme všimnout v tabulce, tak hodnoty jsou pouze pro určitý věk. Tedy hodnoty pro zbývající věkové skupiny musíme dopočítat. A to podle algoritmu:

```

int[] valueAge = {12,16,20,25,30,35,40,45,50,60,65,70,75};
int[] valueCScoreB =
{154,114,93,89,106,123,137,151,172,178,188,200,216};
int[] valueCScoreM =
{193,135,110,104,110,124,142,164,213,234,256,281,317};

if(binocular) valueCScore = valueCScoreB;
else valueCScore = valueCScoreM;

int age = getAge();
if(age < 12) criticalScore=valueCScore[0];
else if(age >= 75) criticalScore=valueCScore[12];
else{
    int i=0;
    while(age>=valueAge[i]) i++;
    criticalScore = ((valueCScore[i]-valueCScore[i-1])/(valueAge[i]-
valueAge[i-1])) * (age-valueAge[i-1]) + valueCScore[i-1];
}

```

Add 3b. Zobrazení grafů výsledků

Vypočítané výsledky zobrazíme do přehledných grafů. V naší aplikaci to bude základní kruhový graf pro 100-HueTest a histogramový graf jednotlivých skóre terčů. Pro zobrazení histogramového grafu využijeme BarChart z knihovny JFreeChart. Kruhový graf pro 100-HueTest bohužel není součástí této knihovny, proto jej budete muset naimplementovat sami a to v třídě CircleChart.

Add 3c. Zobrazení grafů a tabulek diferencí RGB modelu

Jak již jsme se dozvěděli výše, jednotlivé terčíky lze reprezentovat RGB modelem, kdy každý terčik tvoříme aditivním mícháním červené, zelené a modré barvy. Tedy každý terčik reprezentujeme pomocí hodnoty 0 až 255 intenzity těchto tří barevných složek. Díky této reprezentaci můžeme vypočítat diferencii jednotlivých barev mezi tím terčíkem, který má být na pozici správně umístěn, a terčíkem, který tam umístila testovaná osoba.

Vzorec pro výpočet procentuální hodnoty jedné ze základních barevných složek terčíku, který má být na dané pozici správně umístěn je

$$oColor = getDataColor(i) * 100 / 255 \quad (7.1)$$

kde za *Color* dosadíme jednu ze základních barev (červená, zelená nebo modrá) a *i* (1 - 85) reprezentuje danou pozici terčíku. Pro výpočet procentuální hodnoty jedné ze základních barevných složek terčíku, který na pozici umístila testovaná osoba je

$$sColor = getDataColor(iSeen) * 100 / 255 \quad (7.2)$$

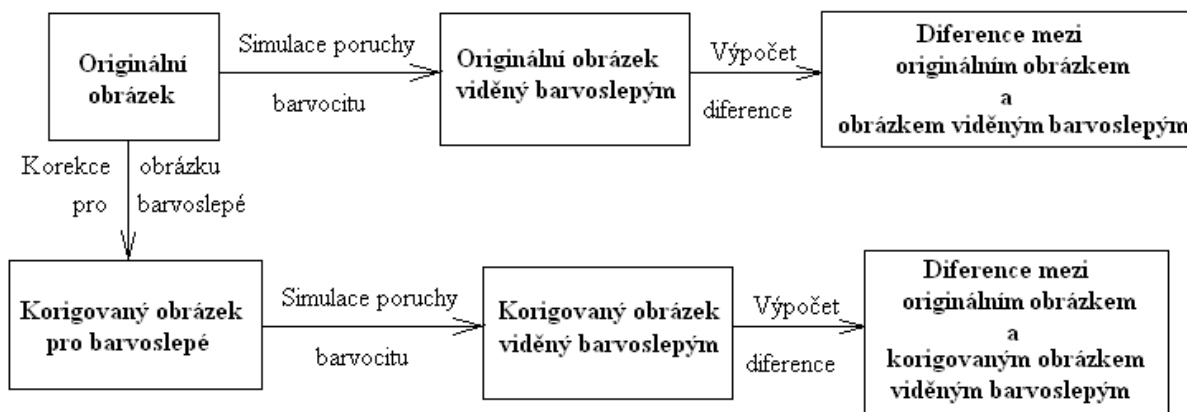
kde *iSeen* (1-85) udává číslo terčíku, který na danou pozici umístila testovaná osoba. Diferenci mezi těmito barvami pak vypočítáme jednoduše podle vzorce

$$diff = sColor - oColor \quad (7.3)$$

Vypočítané hodnoty pro všechny terčíky poté znázorníme pomocí spojnicového grafu pro každou barevnou složku. Pro jeho znázornění v aplikaci využijeme XYLineChart z knihovny JFreeChart. Dále hodnoty můžeme zobrazit pomocí tabulek.

7.3.2 Simulace barvosleposti a korekce barev obrázků

Simulaci barvosleposti a korekci barev, tak aby na obrázku bylo vidět, co nejvíce informací pro barvoslepeho, jsme spojily do jedné podaplikace. Tuto podaplikaci lze popsat pomocí jednoduchého schématu obr. 42.



Obrázek 42 - Schéma algoritmu transformace obrázků pro barvoslepé

Simulace poruchy barvocitu

Pro simulaci poruchy barvocitu použijeme algoritmu „Computerized simulation of color appearance for dichromats“ popsaného pány H. Brettel, F. Vienot a J. D. Mallon [20] a jeho implementace z aplikace „Color-Blindness Simulators“ od pana L. Petrich [33].

Pro simulaci využijeme dvou tříd a to CBFilter a CBFilter_BVM. Pomocí třídy CBFilter si vytvoříme tři filtry, kde každý z nich bude reprezentovat jednu z poruch barvocitu. K tomu slouží metoda setType(N), kde za N dosadíme 0-2 (0 - Protan, 1 - Deutan, 2 - Tritan). Dále nastavíme pro každý filtr úroveň poruchy pomocí proměnné fraction, která bude nabývat hodnot v intervalu <0, 1>, kde minimální hodnota značí, že daná osoba poruchou netrpí a maximální hodnota, že osoba poruchou trpí v plném rozsahu. Zdrojový kód pak bude vypadat takto:

```

BufferedImage temp = image;
CB_Filter protanopiaFilter, deutanopiaFilter, tritanopiaFilter;

protanopiaFilter = new CB_Filter_BVM();
protanopiaFilter.setType(0);
protanopiaFilter.fraction = protanValue;
deutanopiaFilter = new CB_Filter_BVM();
deutanopiaFilter.setType(1);
deutanopiaFilter.fraction = deutanValue;
tritanopiaFilter = new CB_Filter_BVM();
tritanopiaFilter.setType(2);
tritanopiaFilter.fraction = tritanValue;

temp = protanopiaFilter.filter(temp);
temp = deutanopiaFilter.filter(temp);
temp = tritanopiaFilter.filter(temp);

return temp;

```

Korekce obrázku pro barvoslepé

Vychází s algoritmu použitého v [24]. Algoritmus pro každý pixel v obrázku vypočítá jeho novou barevnou reprezentaci, tak aby byl co nejlépe vnímán barvoslepým. Výpočet můžeme rozdělit do několika kroků, které provedeme pro každý pixel:

1. Normalizujeme hodnoty každé barevné složky pixelu, tzn. převedeme reprezentaci danou hodnotami 0-255 do intervalu $<0, 1>$. Pro červenou složku pomocí vzorce

$$red = pixel.getRed() / 255 \quad (7.4)$$

kde red je normalizovaná hodnota pixelu, $pixel.getRed()$ je hodnota červené složky pixelu.

Pro zelenou složku vzorcem

$$green = pixel.getGreen() / 255 \quad (7.5)$$

A pro modrou vzorcem

$$blue = pixel.getBlue() / 255 \quad (7.6)$$

2. Vypočítáme hodnotu červeného a zeleného faktoru pro pixel. Hodnotu červeného dle vzorce

$$redFaktor = 1 - \sqrt{\left(\frac{red}{2} - 1\right)^2 + \left(\frac{green}{2}\right)^2 + \left(\frac{blue}{2}\right)^2} \quad (7.7)$$

Obdobně i hodnotu zeleného a to podle vzorce

$$greenFaktor = 1 - \sqrt{\left(\frac{red}{2}\right)^2 + \left(\frac{green}{2} - 1\right)^2 + \left(\frac{blue}{2}\right)^2} \quad (7.8)$$

3. Vypočítáme si pomocné hodnoty pro získání nových barevných složek pixelu. Pro červenou složku pomocí vzorce

$$pomRed = \left(\frac{red}{2} + 2 \times redFaktor^2\right) \times 1.5 \quad (7.9)$$

Pro zelenou složku vzorcem

$$pomGreen = \left(\frac{green}{2} + 2 \times greenFaktor^2\right) \times 1.5 \quad (7.10)$$

A nakonec pro modrou složku

$$pomBlue = \left(\frac{blue}{2} + 2 \times greenFaktor - 2 \times redFaktor\right) \times 1.5 \quad (7.11)$$

4. Vypočítáme nové hodnoty pro pixel. Pro červenou složku dle vzorce

$$newRed = red - \frac{red - pomRed}{100} \times correctLevel \quad (7.12)$$

kde $correctLevel$ představuje úroveň korekce. Obdobně vypočítáme i hodnoty pro zbývající druhé dvě barevné složky

$$newGreen = green - \frac{green - pomGreen}{100} \times correctLevel \quad (7.13)$$

$$newBlue = blue - \frac{blue - pomBlue}{100} \times correctLevel \quad (7.14)$$

5. Pokud hodnota některé nové barevné složky je nižší než minimální hodnota intervalu $<0, 1>$, tak nastavíme barevné složce nejnižší intenzitu, tedy 0. Pokud naopak je hodnota nové barevné složky vyšší než horní hodnota intervalu $<0, 1>$, tak nastavíme barevné složce nejvyšší intenzitu, tedy 1.
6. Nastavíme obrázku nové hodnoty daného pixelu.

Výpočet diferencí

Diferenci mezi originálním obrázkem a obrázkem viděným barvoslepým a diferenci mezi originálním obrázkem a korigovaným obrázkem viděným barvoslepým, vypočteme jednoduše jako absolutní hodnotu rozdílu jednotlivých barevných složek každého pixelu těchto obrázků. Tedy pro jeden pixel a jednu barevnou složku dle vzorce

$$diffColor = |origColor - seenColor| \quad (7.15)$$

kde za *Color* dosadíme jednu ze základních barev (červená, zelená nebo modrá), *origColor* (0-255) představuje hodnotu intenzity barevné složky *Color* originálního obrázku, *seenColor* (0-255) představuje hodnotu intenzity barevné složky *Color* simulovaného obrázku a *diffColor* udává hodnotu difference barevné složky *Color* mezi danými obrázky. Nakonec z vypočítaných diferencí pro každou barevnou složku každého pixelu sestavíme diferenční obrázek.

7.3.3 Implementace počítačové lupy

K implementaci lupy využijeme Java třídy *AffineTransform* pro výpočet afinních transformací a třídy *AffineTransformOp* pro vytvoření filtru pro zvolený obrázek.

Algoritmus poté bude vypadat takto:

```
AffineTransform transform = new AffineTransform();
transform.setToScale(scale, scale);

AffineTransformOp filter = new AffineTransformOp(transform,
AffineTransformOp.TYPE_NEAREST_NEIGHBOR);
resizeImage = filter.filter(originalImage, null);
```

, kde *setToScale(scale, scale)* představuje funkci pro nastavení úrovně přiblížení a hodnota *scale* samotnou hodnotu přiblížení. Pokud je hodnota *scale* = 2, obrázek bude zvětšen 2krát. Funkce *filter(originalImage, null)* poté provede přiblížení daného obrázku (*originalImage*), podle nastavené úrovně přiblížení a pomocí interpolace provedené pomocí nejbližších sousedních pixelů (*NEAREST_NEIGHBOR*), zvětšený obrázek se poté uloží do *resizeImage*.

7.4 Popis tříd

Samotný program se poté skládá z 28 tříd. Podrobný popis samotných tříd, jejich vlastností, metod a proměnných nalezneme v generované programátorské dokumentaci Javadoc. Proto si zde uvedeme jen názvy jednotlivých tříd a jejich základní funkci v programu.

7.4.1 GUI třídy

V těchto třídách je definován celkový vzhled aplikace, jako jsou tlačítková menu, vstupní formuláře, rozložení vzhledu oken atd. Tyto třídy dědí vlastnosti z třídy `java.awt.Frame`, což je třída sloužící k reprezentaci jakéhokoliv okna v aplikaci.

- **GUIMain** - třída obsahující `main` metodu, která slouží ke spuštění celé aplikace. Dále tato třída slouží jako hlavní menu celé aplikace, ze kterého je možno spouštět dané „podaplikace“, jako je samotný Farmsworth-Munsell 100-Hue Test, podaplikace pro výpočet výsledku 100-Hue Testu, podaplikace sloužící k simulaci barvosleposti a korekci obrázků pro barvoslepé, podaplikace sloužící jako lupa obrázků atd.
- **GUIHueTest** – definuje vzhled podaplikace pro počítačovou reprezentaci Farmsworth-Munsell 100-Hue Testu.
- **GUINewResult** – definuje vzhled podaplikace pro zadání výsledků Farmsworth-Munsell 100-Hue Testu, provedeného nepočítačovým testováním a k editaci již dříve získaných výsledků, počítačově i nepočítačově.
- **GUITestResult** - definuje vzhled podaplikace zobrazující vypočítané výsledky 100-Hue Testu.
- **GUIImageTransform** – definuje vzhled podaplikace pro simulaci barvosleposti a korekci obrázků pro barvoslepé.
- **GUICorrection** - definuje vzhled podaplikace pro určení úrovně korekce. Podaplikace při svém spuštění vyžaduje přítomnost obrázků `pdImage.jpg` a `tImage.jpg`, pomocí nichž určujeme úroveň korekce. Pokud tyto obrázky neexistují nelze podaplikaci spustit.
- **GUIImageZoom** – definuje vzhled podaplikace fungující jako lupa pro obrázky.
- **Calendar** - třída definující vzhled okna pro zobrazení kalendáře, sloužícího k výběru data. Pro práci s kalendářem, využívá třídu `JCalendar`.

7.4.2 Třídy sloužící pro vykreslování grafů, transformací ...

Tyto třídy dědí vlastnosti z třídy `java.awt.Panel` a slouží jako vykreslovací panely. S výjimkou dvou tříd sloužících pro vykreslení histogramu grafu a spojnicových grafů diferencí, tyto třídy využívají knihovny `JFreeChart`.

- **CircleChart** - sloužící k sestavení a vykreslení kruhového grafu pro 100-HueTest.
- **BarChart** - sloužící k sestavení a vykreslení histogramového grafu pro 100-HueTest.
- **XYLineChart** - sloužící k sestavení a vykreslení spojnicových grafů diferencí.

- **HueTestPanel** - slouží k vykreslení samotné počítačové reprezentace Farmsworth-Munsell 100-Hue Testu.
- **ImageCBPanel** - slouží k vykreslení obrázků, nad kterými byla simulována barvoslepost, provedena korekce do barevného zobrazení pro barvoslepé a k zobrazení diferencí.
- **ImageCorrectionPanel** - slouží k vykreslení panelu s obrázky pdImage.jpg a tImage.jpg pro třídu GUICorrection.
- **ImageZoomPanel** - slouží k vykreslení obrázků pro podaplikaci s lupou.

7.4.3 Ostatní třídy

- **Calculation** - třída, kde se provádí veškeré výpočty výsledků Farmsworth-Munsell 100-Hue Testu.
- **CBFilter** - třída, převzata z aplikace „Color-Blindness Simulators“ od pana L. Petrich [33]. Dědí vlastnosti z třídy RGBImageFilter a slouží jako filtr, pro provedení simulace barvosleposti.
- **CBFilter_BVM** - třída, také převzata z aplikace „Color-Blindness Simulators“ od pana L. Petrich [33]. Slouží k výpočtu simulace barvosleposti podle algoritmu „Computerized simulation of color appearance for dichroman“, pro třídu CBFilter.
- **HueTest** - třída s veškerou funkční logikou pro Farmsworth-Munsell 100-Hue Test.
- **ImageCBTransform** - třída s funkční logikou pro podaplikaci pro simulaci barvosleposti a korekci obrázků pro barvoslepé.
- **ImageCorrection** - třída s implementovaným algoritmem pro korekci obrázků
- **ImageZoomTransform** - třída s funkční logikou pro podaplikaci lupy a algoritmem pro zvětšování.
- **StopWatch** - třída dědící z java.awt.Label a sloužící pro implementaci stopek, používaných pro měření délky trvání počítačového Farmsworth-Munsell 100-Hue Testu.
- **RGB** - třída, kde jsou definovány barvy jednotlivých 85 terčů pro Farmsworth-Munsell 100-Hue Test.
- **Setup**- třída pamatující si jednotlivá provedená nastavení v rámci aplikace
- **Reader**- třída sloužící k načtení výsledků testu.
- **Writer**- třída sloužící k uložení výsledků testu.
- **WriterTXT**- třída sloužící k uložení vypočítaných výsledků testu do txt podoby.

8 Aplikace a výsledky

8.1 Spuštění aplikace

Jak již jsme se dozvěděli výše pro implementaci aplikace, byl využit programovací jazyk Java. Proto ke spuštění aplikace je nutné mít nainstalované běhové prostředí Javy – Java Runtime Environment (JRE), toto prostředí obsahuje virtuální počítač - Java Virtual Machine (JVM), knihovnu tříd a další soubory potřebné pro běh Java programů.

Samotný program se nachází v souboru Barvoslepost.jar. JAR archiv je založen na kompresi zip, je vyvíjen společností Sun a slouží k distribuci Java aplikací a knihoven. V souboru Barvoslepost.jar se tedy nachází nejen samotná aplikace, ale také přídatné knihovny, potřebné pro běh aplikace. Aplikaci tedy můžeme spustit jednoduchým dvojklikem na soubor anebo z příkazové řádky, příkazem „java -jar Barvoslepost.jar“. V adresáři, kde se nachází samotná aplikace, by se měly nacházet i dva soubory s obrázky (pdImage.jpg a tImage.jpg). Tyto obrázky jsou využívány podaplikací „Nastavení korekce“. Pokud tedy tyto soubory nebudou k dispozici, nebude možné tuto podaplikaci využívat, zbytek programu pojede bez jakéhokoliv omezení. Součástí adresáře s programem může být i podadresář „Barvoslepost_data“, do kterého aplikace defaultně ukládá všechny výsledky testů nebo obrázky získané při transformaci. Pokud tento podadresář neexistuje, tak to na běh aplikace nemá žádný vliv, aplikace jej sama vytvoří při svém spuštění.

Jelikož jsou java soubory defaultně spouštěny s 64MB paměti, vzniká někdy při simulaci barvosleposti problém s nedostatkem paměti. A to při transformaci velkých obrázků nebo fotek. Řešením tohoto problému je spustit aplikaci s větší pamětí z příkazové řádky pomocí příkazu „javaw -Xmx512M -jar Barvoslepost.jar“, kde 512M znamená, že aplikace bude spuštěna s 512MB paměti.

8.2 Popis aplikace

V této kapitole nalezneme jen lehký popis samotné aplikace, podrobný popis a možnosti ovládání se nachází v nápovědě k aplikaci.

Základem aplikace je hlavní menu (obr. 43), ze kterého je možné spouštěn jednotlivé funkční podaplikace programu, jako samotný Farmsworth-Munsell 100-Hue Test, simulaci barvosleposti, nápověda k aplikaci atd.

Pro počítačové testování pomocí Farmsworth-Munsell 100-Hue Testu slouží podaplikace „Hue Test“. Pro zadání nepočítačově získaného výsledku pak podaplikace „Editovat HueTest“, tato aplikace, jak již název napovídá, může být použita i pro editaci již dříve získaných výsledků. Prvním krokem těchto podaplikací je získání vstupních informací od pacienta a poté samotné provedení testu nebo zadání výsledků testu. Výstupem těchto dvou podaplikací je soubor s příponou „.dat“, ve kterém jsou uloženy výsledky testu. Nevýhodou testu prováděného na počítači je jeho náročnost na čas. Kdy počítačové testování trvá něco mezi 5-7minutami, zatímco nepočítačové něco kolem 2minut. Proto by

mohla vyvstat otázka, proč provádět počítačové testy? Tento důvod je velice jednoduchý. Ne všichni mají přístup k nepočítačovému Farmsworth-Munsell 100-Hue Testu, který stojí nemalé peníze. Dalším důvodem je možnost simulace různých typů a úrovní barevného deficitu. A hlavním důvodem je rychlost vyhodnocování výsledků, kdy ruční vyhodnocování může trvat i několik desítek minut a je ovlivněno lidským faktorem, který může nedopatřením chybovat. Toto odpadá při automatickém vyhodnocení počítačem, které nám dává k dispozici mnohem více možností a jeho doba trvání je otázkou několika vteřin.



Obrázek 43 - Hlavní menu aplikace Barvoslepost

Vyhodnocení výsledků testu je prováděno v podaplikaci „Výsledky“, vstupem této podaplikace je „.dat“ soubor s uloženými výsledky testu. Samotná podaplikace se spouští několika způsoby:

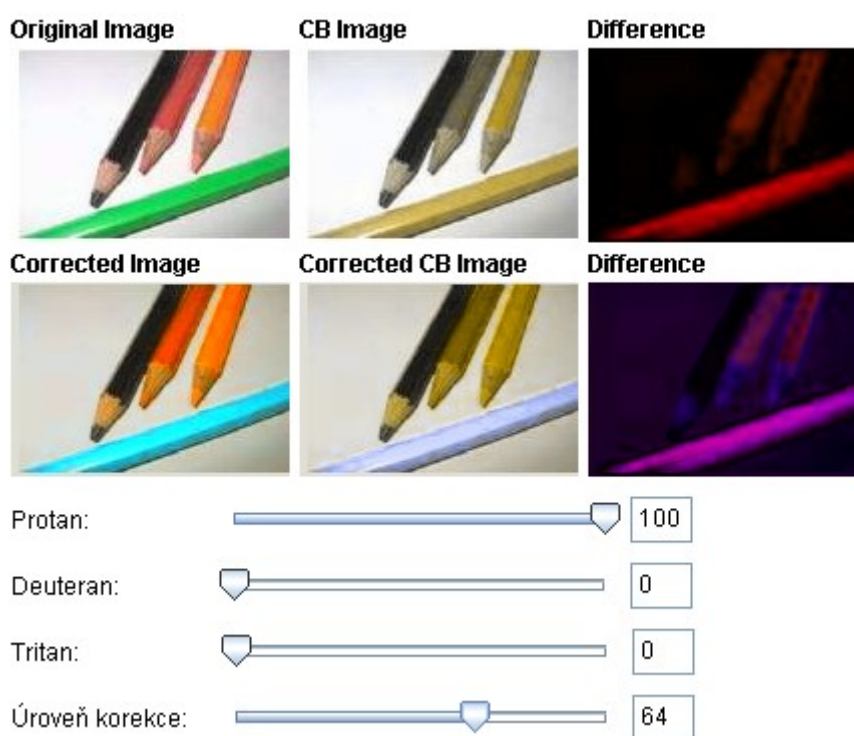
- Automaticky po vykonání Hue Testu
- Z hlavního menu
 - Tlačítko „Výsledky“ – kdy se aplikace pokusí otevřít poslední vykonaný test, pokud tento test existuje
 - Tlačítko „Otevřít výsledek“ – kdy si uživatel vybere patřičný výsledek, který chce vyhodnotit.

Výsledky jsou poté zobrazeny pomocí jednoduchého formuláře a lze je zobrazit pomocí základního kruhového grafu pro 100-Hue Test, pomocí histogramového grafu nebo pomocí diferenčních grafů a tabulek.

Další podaplikací je aplikace sloužící k simulaci barvosleposti, korekci barev obrázků pro barvoslepé a zobrazení diferencí obrázků. Tato podaplikace se nazývá „Transformace obrázků - Barvoslepost“, spustíme ji tlačítkem „Barvoslepost“. Vstupem této podaplikace může být jakýkoliv statický obrázek, který je poté transformován. Transformované obrázky je poté možné uložit. Jak vypadají transformované obrázky, se můžeme podívat na obrázku 44, kde

- Original Image – je původní vstupní obrázek
- CB Image – je původní obrázek viděný barvoslepým

- Difference – je obrázek s diferencí mezi původním obrázkem a obrázkem viděným barvoslepým
- Corrected Image – je obrázek korigovaný pro barvoslepého, tak aby na něm viděl co nejvíce detailů
- Corrected CB Image – je korigovaný obrázek viděný barvoslepým
- Difference – je obrázek s diferencí mezi původním obrázkem a korigovaným obrázkem viděným barvoslepým
- Protan – udává úroveň protan deficitu, v našem případě 100%
- Deuteran – udává úroveň deuteran deficitu, v našem případě 0
- Tritan – udává úroveň tritan deficitu, v našem případě 0
- Úroveň korekce – udává úroveň korekce původního obrázku, v našem případě 64



Obrázek 44 - Ukázka transformace obrázků pro barvoslepé

Podaplikace „Nastavení korekce“ umožňuje zjistit požadovanou úroveň korekce. Tato úroveň je zjišťována pomocí dvou obrázků, na kterých se nachází pseudoizochromatické tabulky a testovaná osoba má za úkol nastavit úroveň korekce, tak aby byly obrázky pro ni „čitelné“.

Poslední podaplikací je „Zvětšení obrázků“, ve které je implementovaná jednoduchá lupa, sloužící jako pomoc slabozrakým. Pomocí myši je vybrána určitá část z původního obrázku, která je pak dle dané úrovně zoomu přiblížena.

Tlačítko „Info“ slouží k zobrazení informace o programu. Tlačítko „Help“ ke spuštění nápovědy k programu. Tlačítko „Konec“ k ukončení programu. Program lze také vypnout standardně pomocí křížku v pravém horním rohu nebo stisknutím ALT+F4.

8.3 Vyhodnocování testů a výstupy

Základní zobrazení vyhodnocení Farmsworth-Munsell 100-Hue Testu se provádí pomocí jednoduchého přehledného formuláře přímo v GUI aplikace.

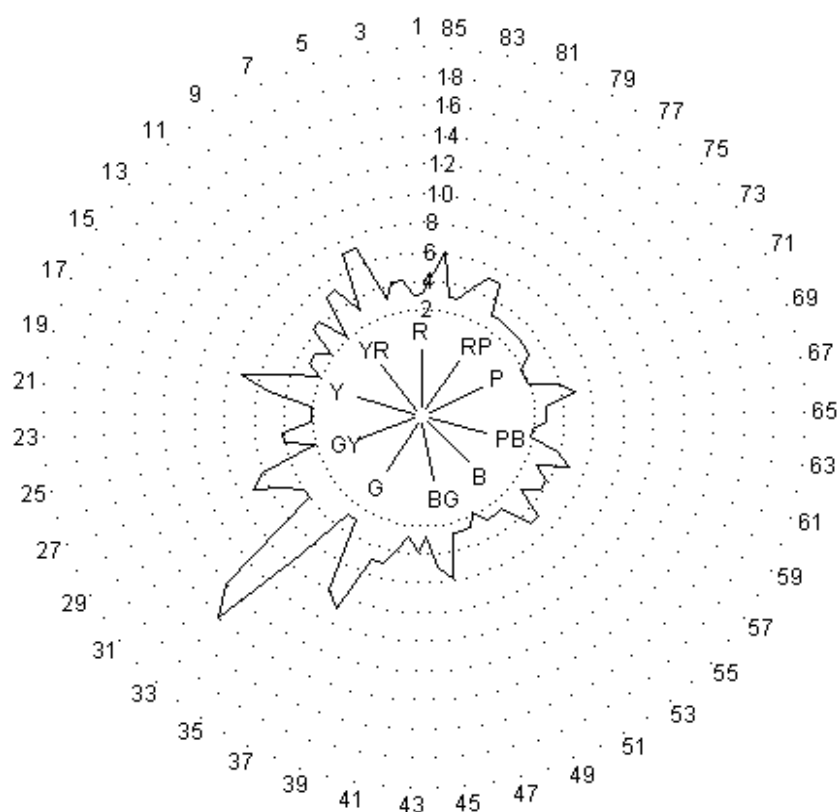
Tento formulář obsahuje tyto údaje:

- Informace o tom jestli byla provedena nad testem simulace barvosleposti, případně jaký typ a úroveň barvosleposti byl simulován
- Jméno testované osoby
- Věk testované osoby
- Typ testu - Binocular, Monocular
- Datum provedení testu
- Čas trvání samotného testu
- Kritické chybové skóre pro věk pacienta
- Celkové chybové skóre dosažené testovanou osobou během testu
- Dílčí chybové skóre pro barevný přechod modrá-žlutá
- Dílčí chybové skóre pro barevný přechod červená-zelená
- Informace o nastavení úrovně korekce pro testovanou osobou
- Tabulky pro každou skupinu terčů udávající, na kterou pozici byl terč umístěn a jednotlivá chybová skóre.

Tento formulář lze dále uložit jako datový výstup aplikace a to v podobě textového dokumentu TXT. Tyto dokumenty budou mimo jiné sloužit jako vstupní data pro plánovaný databázový systém.

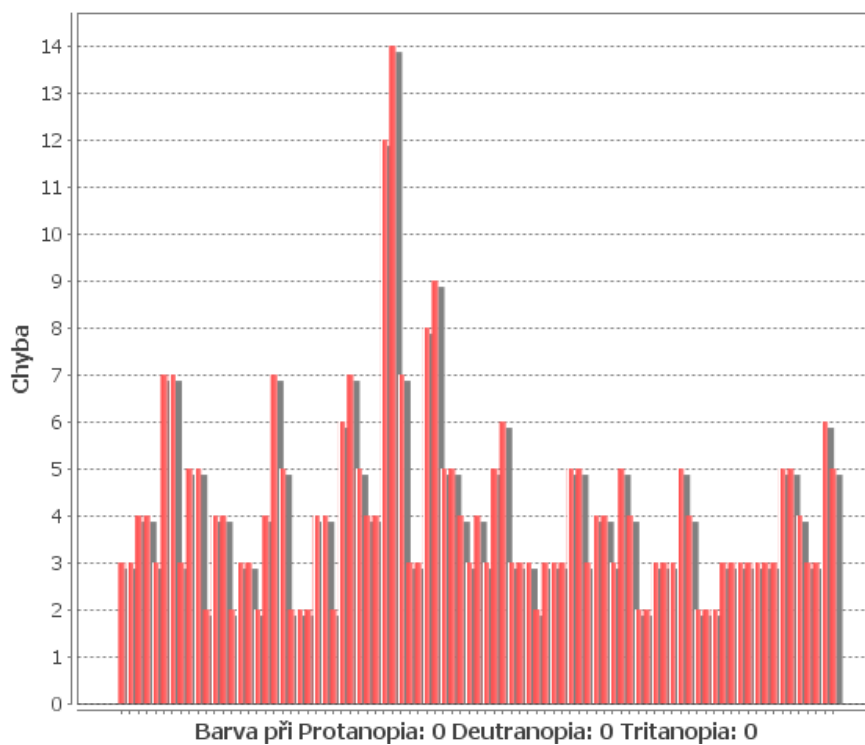
Výsledky je dále možné zobrazit pomocí grafů a to základního kruhového grafu pro 100-Hue Test a histogramového grafu jednotlivých skóre terčů.

Hue Test skóre graf - Binocular



Obrázek 45 - Ukázka kruhového grafu pro 100Hue Test

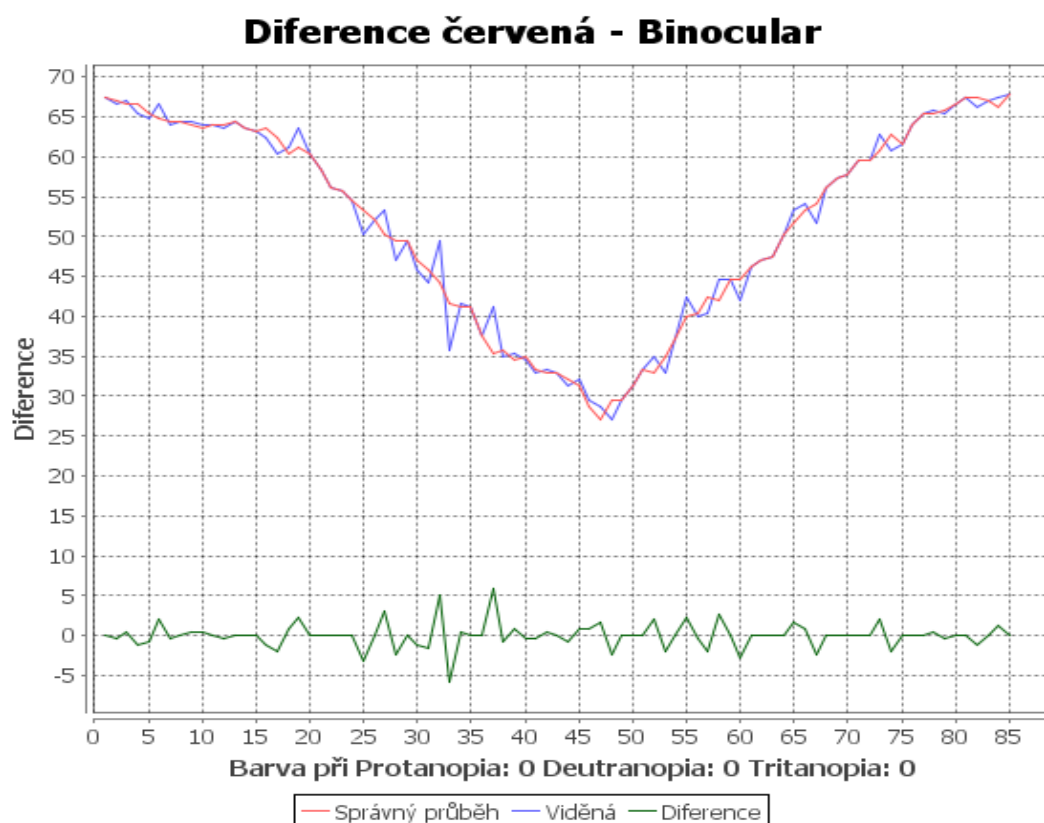
HueTest výsledek - Binocular



Obrázek 46 - Ukázka histogramového grafu pro 100Hue Test

Další možností zobrazení výsledků je pomocí grafů a tabulek, které nám udávají difference jednotlivých barev RGB modelu mezi tím terčíkem, který má být na pozici umístěn a tím terčíkem, který tam umístila testovaná osoba. Pro grafické vyjádření těchto diferencí jsme zvolili spojnicový graf, do kterého vynášíme tři složky a to:

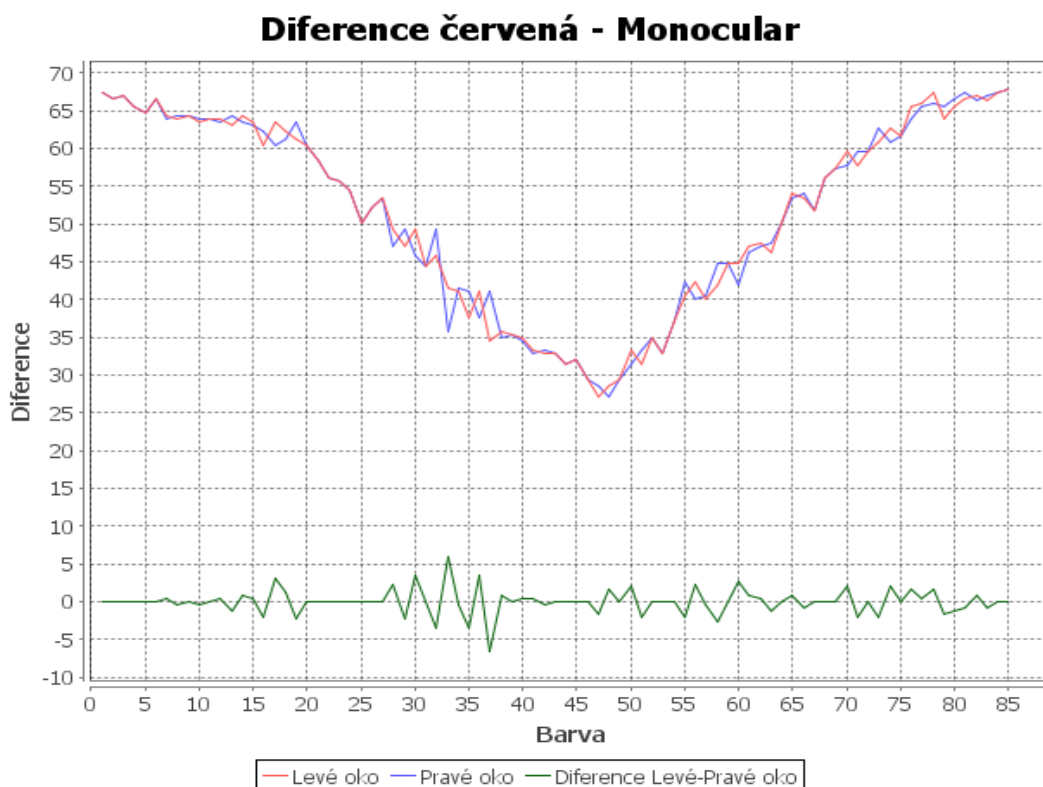
- správný průběh – udává hodnoty barev terčíků, které mají být na pozici správně umístěny
- viděná – udává hodnoty barev terčíků, které na pozici umístila testovaná osoba
- difference – udává diferencí mezi předchozími složkami



Obrázek 47 - Ukázka spojnicového grafu diferencí RGB modelu pro Binocular

Obdobně pak můžeme pracovat i s diferencemi jednotlivých barev, při monokulárním testování, kdy místo skutečných a viděných barev můžeme vypočítat a znázornit diferencí barev mezi levým a pravým okem.

Všechny grafy používané v aplikaci, lze jednoduše uložit jako grafické soubory PNG a to z kontextového menu grafů pomocí funkce „Save as...“.



Obrázek 48 - Ukázka spojnicového grafu diferencí RGB modelu pro Monocular

8.4 Výsledky transformací

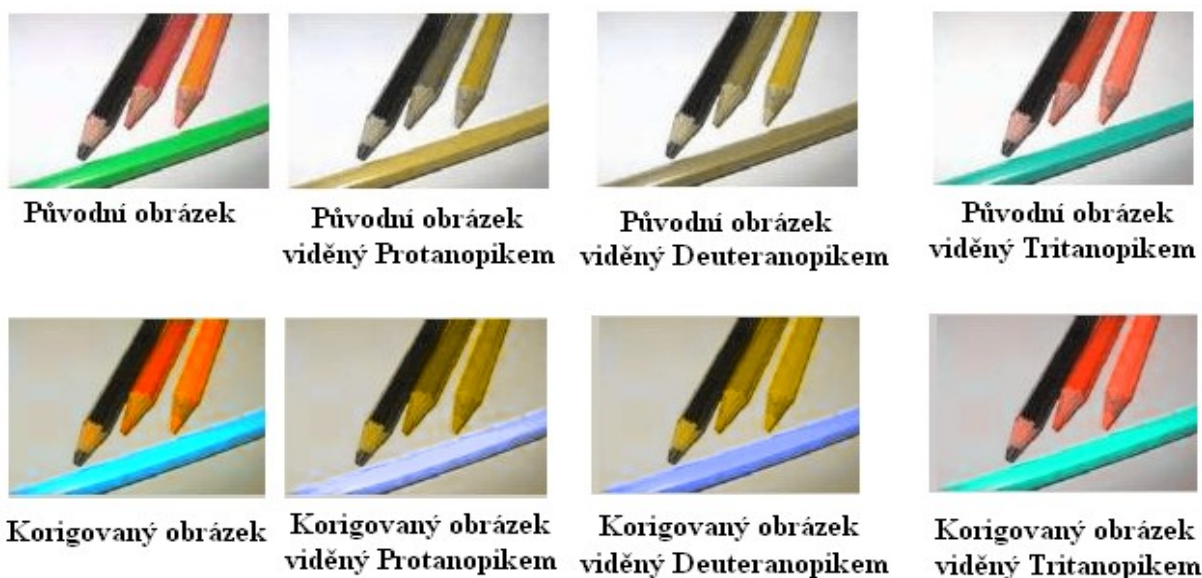
Pro experimenty a zjištění funkčnosti použitých transformací jsme udělali několik pokusů nad různými obrázky. Zde si ukážeme tři z nich. Použité obrázky můžeme vidět na obrázku 49.



Obrázek 49 - Testové obrázky

Jako první provedeme experimenty nad obrázkem se čtyřmi tužkami. Experiment provedeme pro nastavení úrovně 100% každého typu barevného deficitu, tedy pro dichromatiku(-anopia). Výsledek transformace můžeme vidět na obrázku 50, kde v první řadě se nachází obrázky tak, jak je vidí lidé s daným typem poruchy a ve druhé řadě pak korigované obrázky. Úroveň korekce byla nastavena také na 100%. Všimněme si, že protanopik na původním obrázku má problém rozeznat oranžovou a zelenou tužku, avšak po korekci jsou již všechny tužky v celku dobře rozeznatelné jedna od druhé. Podobný problém nastává i u deutanopika, který má naopak problém rozeznat červenou tužku od zelené. Po korekci jsou opět všechny tužky dobře viditelné. Osoba trpící tritanopií nemá

problém rozpoznat tužky již na původním obrázku, proto není potřeba nastavovat úroveň korekce. Pokud tak však provedeme, můžeme si všimnout, že červená a oranžová tužka se stávají hůře rozpoznatelnými.



Obrázek 50 - Transformace obrázků - Experiment 1

Druhý experiment provedeme nad obrázkem s dvěma tužkami. Tento obrázek je dobře viditelný jak pro protan tak i deuteran deficit. Proto provede experiment pouze pro tritan deficit v různých úrovních. Úrovně jsme stanovili na 100%, 80% a 60%, při nižších hodnotách deficitu je již obrázek dobře viditelný. Výsledek transformace můžeme vidět na obrázku 51, v první řadě se nachází obrázek tak, jak jej lze vidět s danou úrovní poruchy tritan, v druhé pak korigované obrázky. Úroveň korekce byla znovu nastavena na 100%. Všimněme si, že pro úroveň 60% jsou tužky vcelku dobře rozeznatelné a korekce dělá tyto tužky jen více kontrastní. Při úrovni 80% jsou již tužky o dost hůře rozpoznatelné a při úrovni 100% vypadají tužky identicky. Korekce však u obou těchto případů tento problém úspěšně řeší.



Obrázek 51 - Transformace obrázků - Experiment 2

Třetí experiment provedeme nad obrázkem s krajinkou a tentokrát se ukážeme i difference. Pro experiment jsme zvolili nastavení úrovně 100% protan, tedy pro člověka trpícího protanopií a korekci jsme opět nastavily na 100%. Všimněme si, že spousta detailů je na tomto obrázku pro protanopika velice špatně viditelná. Například všechna pole vypadají na obrázku prakticky stejně, nebe je sice rozpoznatelné, ale také není moc dobře viditelné. A na diferenčním obrázku si můžeme všimnout, že prakticky všechny barvy mají podobnou diferenci. Na korekčním obrázku již však lze vidět mnohem více detailů. Nebe je daleko více kontrastní, různá pole již lze od sebe rozlišit. To nám dokazuje také diferenční obrázek, kde to různými barvami jen hraje.



Původní obrázek



**Původní obrázek
jak jej vidí Protanopik**



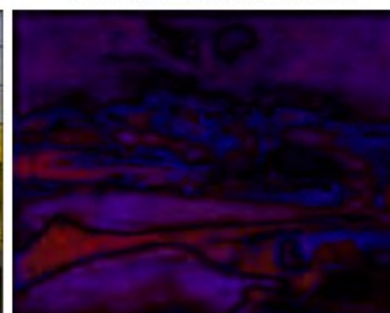
**Diference mezi
původním obrázkem
a obrázkem
viděným Protanopikem**



Korigovaný obrázek



**Korigovaný obrázek
jak jej vidí Protanopik**



**Diference mezi
původním obrázkem
a korigovaným obrázkem
viděným Protanopikem**

Obrázek 52 - Transformace obrázků - Experiment 3

9 Závěr

Tato diplomová práce byla založena na realizaci programu, který by bylo možné použít jako základ programu využívaného v očním lékařství, a to hlavně v oblasti problému barvocitu a částečně problému slabozrakosti.

Hlavním cílem tedy bylo zmapovat možnosti využití počítače pro pomoc barvoslepým lidem a na základě těchto možností vytvořit program vhodný pro diagnostiku, analýzu a následnou transformaci obrázků do viditelného spektra pro barvoslepe.

Pro diagnostiku poruch barvocitu byl zvolen Farmsworth-Munsell 100-Hue Test, z důvodu jeho komplexnosti a širokým možnostem při vyhodnocování testu. Bohužel při počítačovém testování se setkáváme s problémem nekalibrovanosti monitorů, proto byla implementována i možnost zadání výsledků, získaných nepočítačovým testováním. Vyhodnocování pak probíhá na základě výpočtu celkového chybového skóre TES a dílčích chybových skóre TPES, která nám udávají, zdali je testovaná osoba barvoslepá a to jakým typem poruchy barvoslepá osoba trpí. Vyhodnocování je rozšířeno o diferenční grafy jednotlivých barevných složek RGB.

Další možností programu je ukázat lékaři a lidem s normálním barevným viděním to, jak barvoslepi lidé vnímají svět kolem nás, protože mnoho lidí se domnívá, že barvoslepi nevidí žádné barvy a že vnímají svět kolem nás pouze v odstínech šedi. Většina barvoslepých však vnímá barvy, mají však problém vnímat rozdíly mezi některými z nich. Simulaci světa barvoslepých provádíme nad statickými obrázky. Tuto simulaci jsme také použili nad Farmsworth-Munsell 100-Hue Testem. Což může být použito k dalšímu zkoumání.

Pro pomoc barvoslepým lidem byla využita možnost transformace obrázků tak, aby na nich bylo vidět co nejvíce detailů, které jsou běžně barvoslepým skryty. Jak již bylo mnohokrát uvedeno, barvoslepi nikdy neuvidí tak, jako člověk s normálním barevným viděním. Proto je algoritmus založen na tom, aby jednotlivé barevné detaily, které by mohly barvoslepému splývat, byly od sebe barevně odlišeny. Funkčnost algoritmu transformace jsme si dokázali na několika různých příkladech.

Silným nástrojem programu je také zobrazení diferenční obrázků, které nám podávají jak důkaz o funkčnosti algoritmu transformace barev, tak hlavně umožňují lékaři poznat, jak moc detailů na originálním a transformovaném obrázku barvoslepy člověk vidí.

Do diplomové práce byla také zahrnuta částečně problematika slabozrakosti. Na pomoc těmto lidem byla vyvinuta počítačová lupa. Bohužel, výsledky dosažené pomocí ní nejsou příliš dobré a v této oblasti je toho ještě mnoho ke zlepšení. Optimálnějším způsobem pomoci by byla možnost implementace digitálního čtecího zařízení s hlasovým výstupem.

Hlavním problémem při vykonávání práce bylo, že jsme se nesetkali s barvoslepým člověkem. Tedy jsme nemohli konzultovat správnost námi dosažených výsledků. Pro další pokračování v práci, by tedy bylo dobré, tyto výsledky ověřit v praxi na skupině barvoslepých.

Problém barvosleposti je tak obsáhlý, že je stále co zdokonalovat a rozšiřovat. Do budoucna je počítáno s rozšířením našeho programu tak, aby mohl být použit k profesionálnímu vyšetřování a evidenci dat o pacientech, a to pomocí implementace databázového systému a výstupu pomocí různých typů lékařských zpráv.

Další možností rozšíření programu je přidání různých typů testů pro diagnostiku barvosleposti a porovnávání výsledků jimi získaných. A neposlední možností rozšíření je implementace dalších algoritmů nebo zdokonalování stávajících algoritmů pro simulaci barvosleposti a transformaci pro lepší viditelnost tak, aby bylo možné porovnat výsledky jimi získané. Nebo aby je bylo možné použít nejen nad statickými obrázky, ale také nad webovými stránkami nebo videi.

Příspěvek prezentující výsledky diplomové práce byl přijat na konferenci International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2011 a bude uveřejněn na ISI Web of Knowledge.

Literatura

- [1] OTRADOVEC, Jiří. *Klinická neurooftalmologie*. Praha: Grada Publishing, 2003. 488 s. ISBN 80-247-0280-0.
- [2] DOKLÁDAL, Milan; PÁČ, Libor. *Anatomie Člověka III.: Systém kožní, smyslový a nervový*. Brno: Masarykova Univerzita, Fakulta lékařská, 2000. 285 s. ISBN 80-210-1169-6.
- [3] DUBOVÝ, Petr. *Struktura a dráhy nervové soustavy člověka*. 2. přepracované vydání. Brno: Masarykova Univerzita, Fakulta lékařská, 1998. 176 s. ISBN 80-210-1927-1.
- [4] GANONG, William F. *Přehled lékařské fyziologie*. 20. vydání. [s.l.]: Galén, 2005. 890 s. ISBN 80-7262-311-7.
- [5] HELVE, Jyrki. *A Comparative study of several diagnostic tests of colour vision used for measuring types and degrees of congenital red-green defects*. Copenhagen: Acta Ophthalmol Suppl., 1972. 65 s. ISBN 87-16-01008-6
- [6] BIRCH, Jennifer. *Diagnosis of Defective Colour Vision*. New York: Oxford University Press, 1993.
- [7] HRACHOVINA, Václav; DOŠKOVÁ, Hana. *Zvětšovací pomůcky: Učební texty pro studující optometrie*. Brno: Masarykova Univerzita, 1998. 21 s. ISBN 80-210-1854-2.
- [8] AUTRATA, R.; VANČUROVÁ, J. *Nauka o zraku*. Brno: IDV PZ, 2002.
- [9] PITNER, Tomáš. *Java začínáme programovat: Podrobný průvodce začínajícího uživatele*. Praha: Grada, 2002. 224 s. ISBN 80-247-0295-9.
- [10] KREJČÍKOVÁ, Jitka. *Barevné vidění*. Brno, 2007. Bakalářská práce. Masarykova Univerzita, Lékařská fakulta.
- [11] ČERVENÁK, Miroslav. *Barvocit u pacientů s diabetickou retinopatií*. Brno, 2006. Diplomová práce. Masarykova Univerzita, Lékařská fakulta.
- [12] HOLÍŠOVÁ, Klára. *Barevné vidění*. Brno, 2007. 59 s. Bakalářská práce. Masarykova Univerzita, Lékařská fakulta.
- [13] NAKLÁDALOVÁ, Lucie. *Využití světelné lupy pro korekci slabozrakosti*. Brno, 2007. 53 s. Diplomová práce. Masarykova Univerzita, Lékařská fakulta.
- [14] JANČOVIČ, Adam. *Vnímání barev*. Brno, 2005. Diplomová práce. Masarykova Univerzita, Fakulta pedagogická, Katedra Fyziky.
- [15] KŘÍŽ, Pavel. *Zraková ostrost*. Brno, 2007. 55 s. Bakalářská práce. Masarykova Univerzita, Lékařská fakulta.
- [16] MACHÁČEK, Pavel. *Osvětlení a slabozrakost: jak správně svítit a vytvořit vhodné podmínky pro slabozrakého člověka*. Praha: Tyfloservis, 2002. 48 s. Dostupné z WWW: <<http://www.tyfloservis.cz/oas.pdf>>. ISBN 80-238-9231-2.
- [17] FARNSWORTH, Dean. *The Farnsworth-Munsell 100-Hue Test: for the examination of Color Discrimination*. New York : [s.n.], 1957. 9 s.

- [18] VERRIEST, Guy; VAN LAETHEM, Jean; UVIJLS, André. *A new assessment of the normal ranges of the 100-hue test total scores*. Ghent (Belgium): Am J Ophthalmol, 1982. 10 s.
- [19] KINNEAR, P.R.; SAHRAIE, A. *New Farnsworth-Munsell 100 hue test norms of normal observers for each year of age 5-22 and for age decades 30-70*. Br J Ophthalmol, 2002. 5 s.
- [20] BRETTEL, Hans; VIÉNOT, Francoise; MOLLON, John D. *Computerized simulation of color appearance for dichromats*. [s.l.] : J. Opt. Soc. Am. A, 1997. 9 s.
- [21] HUANG, Jia-Bin; WU, Sih-Ying; CHEN, Chu-Song. *Enhancing Color Representation for the Color Vision Impaired*. 2008. 12 s.
- [22] TROIANO, Luigi; BIRTOLO, Cosimo; MIRANDA, Maria. *Adapting Palettes to Color Vision Deficiencies by Genetic Algorithm*. Atlanta: GECCO, 2008. 8 s.
- [23] BALAKRISHNAN, V. *Computerised scoring and graphing of the Farnsworth-Munsell 100 Hue test of colour vision: A program written in pascal*. Singapore Med J: Singapore, 1992. 6 s
- [24] LIČEV, Lačezar, et al. *Image Transformation for Colour Blind People*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2009. 8 s.
- [25] ŠPICELOVÁ, Klára. *Zhodnocení citelnosti turistických map pro osoby s poruchou barvocitu*. Plzeň: Západočeská univerzita, Fakulta aplikovaných věd, Katedra matematiky, 2007. 19 s.
- [26] TEZAUR, Radka. Barevné vidění: druhý pohled. *Paladix* [online]. 7.5.2003, [cit. 2011-02-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.paladix.cz/clanky/barevne-videni-druhy-pohled.html>>.
- [27] Barevné vidění. *Vidění.cz* [online]. [cit. 2011-02-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.videni.cz/zrak/videni/29-barevne>>.
- [28] DZIK, Petr. Teorie barevného vidění. *Paladix* [online]. 17.6.2001, [cit. 2011-02-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.paladix.cz/clanky/teorie-barevneho-videni.html>>.
- [29] PIHAN, Roman. Vše o světle: článek 1-14. *Fotografovani.cz* [online]. 2007, [cit. 2011-02-11]. Dostupný z WWW: <http://www.fotografovani.cz/art/fozak_df/rom_1_01_cojetosvetlo.html>.
- [30] Kdo je zrakově postižený?. *Sons.cz* [online]. [cit. 2011-02-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.sons.cz/kdojezp.php>>.
- [31] Vischeck. [cit. 2011-02-11]. Dostupný z WWW: <<http://vischeck.com/>>.
- [32] Color blind image correction. *Vischeck* [online]. [cit. 2011-02-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.vischeck.com/daltonize/>>.
- [33] PETRICH, Loren. Color-Blindness Simulators., [cit. 2011-02-11]. Dostupný z WWW: <<http://homepage.mac.com/lpetrich/ColorBlindnessSim/ColorBlindnessSim.html>>.
- [34] Online Color Challenge : How well do you see color?. *X-rite* [online]. [cit. 2011-02-11]. Dostupný z WWW: <http://www.xrite.com/custom_page.aspx?PageID=77&Lang=en>.
- [35] TÖRÖK, Béla. WEB-based scoring software for the Farnsworth-Munsell 100-Hue, Roth 28-Hue, Farnsworth D-15, and the Lanthony D-15 desaturated color tests. [online]. [cit. 2011-02-11]. Dostupný z WWW: <http://www.torok.info/colorvision/dir_for_use.htm>.

- [36] FLÜCK, Daniel. Color Blind Essentials. *Colblindor* [online]. 23.2.2010, [cit. 2011-02-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.colblindor.com/2010/02/23/color-blind-essentials/>>.
- [37] FLÜCK, Daniel. Chromosomes Involved in Color Blindness. *Colblindor* [online]. 2.6.2006, [cit. 2011-02-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.colblindor.com/2006/06/02/chromosomes-involved-in-color-blindness/>>.
- [38] FLÜCK, Daniel. Color Arrangement Test. *Colblindor* [online]. [cit. 2011-02-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.colblindor.com/color-arrangement-test/>>.
- [39] FLÜCK, Daniel. RGB Anomaloscope — Color Blindness Test. *Colblindor* [online]. [cit. 2011-02-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.colblindor.com/rgb-anomaloscope-color-blindness-test/>>.
- [40] FLÜCK, Daniel. Coblis — Color Blindness Simulator. *Colblindor* [online]. [cit. 2011-02-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.colblindor.com/coblis-color-blindness-simulator/>>.
- [41] <http://tf.czu.cz/~sedlacek/Vyuka/Obrazky/ElmgSpektrum.png>
- [42] http://www.labo.cz/mft/rad_pasma.htm
- [43] <http://fyzika.gbn.cz/phprs/image/fyzika/optika/oko.jpg>
- [44] http://www.fotoroman.cz/techniques2/exposure_histo.htm
- [45] <http://isite.lps.org/sputnam/Biology/Unit%205%20Genetics/karyotype%282%29.jpg>
- [46] http://en.wikipedia.org/wiki/Ishihara_color_test
- [47] <http://store.rodandcones.com/store/CID11/PID446>
- [48] <http://www.glimpsejournal.com/2.3-KAJ.html>
- [49] http://www.eyesfirst.eu/epages/61989410.sf/en_GB/?ObjectPath=/Shops/61989410/Products/56004
- [50] <http://www.psych.ucalgary.ca/pace/VA-Lab/colourperceptionweb/congenital.htm>
- [51] http://www.bon.de/screening-voruntersuchung-anomaloskope-c-99_74.html
- [52] http://www.xrite.com/custom_page.aspx?PageID=77&Lang=en
- [53] http://en.wikipedia.org/wiki/Color_blindness
- [54] <http://cz.wikipedia.org/>

Přílohy uložené na CD

- Zdrojové kódy
- Program
- Uživatelská příručka
- Programátorská příručka